

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zařízení pro chlazení Al profilů  
Arrangement for Cooling of Al Profiles

Student:

Bc. Martin Luzar

Vedoucí práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Martin Luzar</b>
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	20 Výrobní stroje a zařízení
Téma:	Zařízení pro chlazení Al profilů Arrangement for Cooling of Al Profiles

### Zásady pro vypracování:

Pro potřebu firmy FERRAM STROJÍRNA, s.r.o. navrhnete chladicí úsek za protlačovací zařízení Al profilů. Předpokládejte maximální průřez čtvercového profilu 210x210 mm tloušťky 10 mm. Minimální průřez obdélníkového profilu je 50x10 mm tloušťky 1 mm. Počáteční teplota je 570 °C konečná teplota je 200 °C. Stávající délka chladiče je cca 4,5 m s efektivní délkou chlazení 4 m. Protlačovací zařízení je schopno protlačit profil 210x210x10 mm rychlostí 3,45 m/min a profil 50x10x1 mm rychlostí 19,7 m/min. Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění:

- Seznam požadavků
- Funkční struktura
- Morfologická matice
- Organová a hrubá stavební struktura
- 2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení

3. Výrobní výkresovou dokumentaci vybraných prvků chladicího zařízení- např. chladicí trysky.

Rozsah výtahu z rešerše z diplomového projektu v textové části práce cca 5 stran, rozsah výkresové části min. 2 x A0

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. Konstrukční nauka.

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.

FS\_SME\_05\_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2014

*Martin Luváček*

Plné jméno diplomanta

Adresa trvalého pobytu diplomanta

Bezručova 3

Opava 5 – Malé Hoštice

Česká republika

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LUZAR, M. Zařízení pro chlazení Al profilů: diplomová práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 59 s. Vedoucí práce: Noga, Z.

Diplomová práce se zabývá zlepšením konstrukčního návrhu chladicího zařízení pro Al profily. Úvod práce obsahuje technickou zprávu složenou z požadavků na zařízení, funkční struktury, morfologické matice, orgánové struktury a hrubé stavební struktury. Výpočtová část se zabývá navržením rozměrů chladiče a jeho parametrů pro správné chlazení zadaných hliníkových profilů. Je uveden technický popis zařízení a navrženo konstrukční řešení, které je dokumentováno v příloze diplomové práce.

## ANNOTATION OF THESIS

LUZAR, M. Arrangement for cooling of Al profiles: Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing and Construction Machinery, 2014, 59 p. Thesis head: Noga, Z.

This thesis deals with improving the engineering design of cooling arrangement of Al profiles. The introduction of the thesis contains a technical report specifying equipment requirements, functional structure, morphological matrix, organ structure and gross building structure. The calculation part deals with designing dimensions of the cooler and its parameters specified for proper cooling of aluminum profiles. Also documented in the thesis are the technical description of the device, and the construction solution which is in the annex.

# Obsah

Slovník pojmů k hledání informací v anglické literatuře .....	8
Seznam jednotek .....	9
1. Úvod .....	12
1.1. Dosavadní řešení .....	12
2. Výtah z diplomového projektu .....	12
2.1. Hliník – Al .....	12
2.1.1. Hliník EN AW-6082 .....	13
2.2. Kalení .....	14
2.2.1. Kalení vodou .....	14
2.2.2. Kalení studenou vodou .....	14
2.2.3. Kalení sprejem (mlhou) .....	15
2.3. Změna skupenství chladiva při kalení .....	16
3. Seznam požadavků .....	17
4. Funkční struktura .....	18
5. Výpočty .....	19
5.1. Výpočet rychlostí proudění médií .....	20
5.1.1. Výpočet rychlosti proudění vzduchu na výstupu z trysky .....	20
5.1.2. Výpočet rychlosti vody na výstupu z trysky a koncová rychlost .....	21
5.1.3. Výpočet rychlosti vodní mlhy na výstupu z trysky .....	22
5.1.4. Výpočet koncové rychlosti mlhy .....	23

5.1.5.	Výpočet koncové rychlosti vzduchu .....	24
5.2.	Určující teplota .....	25
5.3.	Výpočet součinitele přestupu tepla .....	25
5.3.1.	Vzdálenosti a rozvržení trysek .....	27
5.3.2.	Součinitel přestupu tepla vzduchu a mlhy .....	31
5.3.3.	Součinitel přestupu tepla vody .....	32
5.4.	Množství energie odebrané protlačovanému profilu .....	34
5.5.	Výpočet délky chladiče.....	35
5.6.	Určení tenkých a tlustých těles .....	37
5.7.	Doba chlazení a ověření MKP analýzou.....	38
5.8.	Počet trysek.....	42
6.	Orgánová struktura .....	42
7.	Hrubá stavební struktura.....	45
8.	Technický popis zařízení .....	46
9.	Závěr.....	53
	Poděkování.....	54
	Literatura.....	55
	Seznam obrázků.....	57
	Seznam tabulek .....	58
	Seznam příloh .....	59
	Seznam příloh na CD.....	59

## **Slovník pojmů k hledání informací v anglické literatuře**

### **Česky**

### **Anglicky**

Hliník

Aluminum

Slitina

Alloy

Kalení

Quenching, hardening

Chlazení

Cooling

Tryska

Nozzle

Protlačování

Extrusion

Svar

Weld



## Seznam jednotek

<u>Název</u>	<u>značka</u>	<u>jednotka</u>
Rozměr polotovaru	a	[mm, m]
Práce	A	[J]
Rozměr polotovaru	b	[mm, m]
Biotovo číslo	Bi	[-]
Měrná tepelná kapacita za stálého tlaku	$c_p$	[J.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
Tvarový součinitel	$C_x$	[-]
Průměr	d	[m]
Hydraulický průměr	$d_h$	[m]
Energie	E	[J]
Kinetická energie	$E_k$	[J]
Potenciální energie	$E_p$	[J]
Odpor vzduchu	$F_{vz}$	[N]
Gravitační zrychlení	g	[m.s <sup>-2</sup> ]
Vzdálenost trysky od profilu	h	[mm, m]
Teoretická délka teplosměnné plochy	l	[m]
Délka teplosměnné plochy	L	[m]
Hmotnost	m	[kg]
Měrná hmotnost	$\dot{m}$	[kg.s <sup>-1</sup> ]
Počet trysek	n	[-]
Nusseltovo číslo	Nu	[-]

Obvod	$o$	[m]
Počet otvorů v trysce	$p$	[-]
Tlak	$p$	[Pa]
Atmosférický tlak	$p_{\text{atm}}$	[Pa]
Prandltovo číslo	$Pr$	[-]
Hustota tepelného toku	$q$	[W.m <sup>-2</sup> ]
Objemový průtok vody	$Q_v$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> , m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]
Objemový průtok vzduchu	$Q_{vz}$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> , m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]
Reynoldsovo číslo	$Re$	[-]
Tloušťka stěny polotovaru	$s$	[mm, m]
Plocha	$S$	[m <sup>2</sup> ]
Teplota vody	$t_v$	[°C]
Teplota vodní mlhy	$t_{vm}$	[°C]
Teplota vzduchu	$t_{vz}$	[°C]
Teplota hliníku	$t_{Al}$	[°C]
Stření teplota	$t_s$	[°C]
Určující teplota	$t_U$	[°C]
Úhel výtoku média z trysky	$u$	[°]
Rychlost protlačování	$v_p$	[m.s <sup>-1</sup> , m.min <sup>-1</sup> ]
Počáteční rychlost	$v_1$	[m.s <sup>-1</sup> ]
Koncová rychlost	$v_2$	[m.s <sup>-1</sup> ]
Polovina šířky rozstříku	$x$	[m]

Poměr vody	$z$	[%]
Součinitel přestupu tepla	$\alpha$	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Dynamická viskozita	$\eta$	[Pa.s]
Využití ventilátorů, čerpadel	$\eta$	[%]
Tepelná vodivost	$\lambda$	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Kinematická viskozita	$\nu$	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
Ludolfovo číslo	$\pi$	[-]
Hustota	$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]
Suma teplosměnných ploch	$\Sigma S$	[m <sup>2</sup> ]
Doba průchodu profilu chladičem	$\tau$	[s]
Tepelný tok	$\Phi$	[W]

## **1. Úvod**

Chladicí zařízení je umístěno za lisem, který kontinuálně protlačuje hliníkové profily za tepla. Tyto profily mají po protlačení teplotu pohybující se kolem 570 °C. Profil poté projíždí chladicím zařízením, kde se musí rovnoměrně ochladit na 200 °C. Ochlazování musí trvat pokud možno co nejkratší dobu. Ochlazené profily se po průchodu chladičem nařezou na požadované délky a postupují dál výrobní linkou.

### **1.1. Dosavadní řešení**

Tato diplomová práce vychází z již hotového a funkčního zařízení, které vyrábí firma FERRAM STROJÍRNA, s.r.o. (dále už jen Ferram). Práce ovšem navrhuje nové zařízení pro jiné parametry. Stávající délka chladiče je 4,5 m s efektivní délkou chlazení 4 m. Zařízení má 8 horních, 8 spodních a 14 bočních trysek (na každé straně 7). Hliníkové profily jsou chlazeny na teplotu 250 °C. Největší profil, tedy 210x210x10 není tento chladič schopen uchládit.

## **2. Výtah z diplomového projektu**

### **2.1. Hliník – Al**

Hliník je stříbrně bílý, lesklý, nemagnetický, velmi lehký kov s vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí. Další vlastnosti jsou výborná tvárnost, vysoká odolnost proti korozi a dobrá svařitelnost. Na vzduchu se povrch hliníku poměrně rychle pokrývá vrstvou oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (oxid hlinitý - korund), která chrání před další oxidací [1,2].

Nejdůležitější slitiny hliníku jsou magnalium (10-35 % Mg), duraluminium (Cu, Mg, Mn, Si), silumin (13 -25 % Si), hydronalium (Mg) nebo pentel (Mg, Si). Mezi nejpevnější slitiny hliníku patří slitiny se zinkem, hořčíkem, titanem, chromem a mědí. Přídavek lithia a kobaltu zlepšuje pevnostní a plastické vlastnosti hliníkových slitin, nikl vylepšuje pevnost za vysokých teplot, zirkonium a molybden zjemňují strukturu, skandium zlepšuje svařitelnost, stříbro zvyšuje chemickou odolnost, olovo a bismut zlepšují mechanickou obrobitelnost, antimon zvyšuje odolnost vůči korozi v mořské vodě, bor zlepšuje elektrickou vodivost. Hlavním legujícím prvkem hliníkových slitin je křemík,

který zvyšuje pevnost a slévárenské vlastnosti. V kombinaci s hořčíkem umožňuje vytvrzování [1].

Pomocí tepelného zpracování lze hliníkové slitiny vytvrdit tak, že mohou dosáhnout pevnosti až 700 MPa, takže poměr pevnost/hmotnost převyšuje i ty nejpevnější oceli. Postup vytvrzování slitin:

1. Homogenizace – udržení teploty asi 550 °C po dobu 2 hodin (aby se legující prvky rozpustily)
2. Kalení – z teploty homogenizace (tím se prvky zablokují v rozpuštěném stavu)
3. Vytvrzování – teplota 120 – 190 °C po dobu 8 hodin (legující prvky kondenzují do nano-disperzní intermetalické sloučeniny)

Výsledkem je materiál, který má na svoji hmotnost velkou pevnost a odolnost proti korozi. Pevnost se však ztrácí při zahřátí nad teplotu homogenizace.

#### Vytvrditelné slitiny hliníku:

Série 2000: Al + 2 až 6 % Cu + Fe, Mn, Zn někdy i Zr, použití v letectví

Série 6000: Al + až 1,2 % Mg + 0,25 % Zn + Si, Fe a Mn, střední pevnost, hodí se na protlačování a kování

Série 7000: Al + 4 až 9 % Zn + 1 až 3 % Mg + Si, Fe, Cu příležitostně Zr a Ag, vysokopevnostní letecké konstrukce [3].

### **2.1.1. Hliník EN AW-6082**

Konstrukční materiál s dobrou tvárností, lešitelností a odolností proti korozi, dobrou schopností elektrolytické oxidace, vhodný ke svařování. Má dobré plastické vlastnosti v žíhaném stavu, vyhovující ve vytvrzeném stavu. Tvářitelnost při teplotách 450 – 500 °C je velmi dobrá. Korozní odolnost je velmi dobrá, u tohoto materiálu se neprojevuje sklon ke koroznímu praskání pod napětím. Obrobitelnost řeznými nástroji je nevyhovující v žíhaném stavu a vyhovující ve vytvrzeném stavu. Používá se na součásti se střední pevností dlouhodobě pracující při teplotách 50 až -70 °C, u nichž se požaduje dobrá technologičnost, korozní odolnost a dekorativní vzhled, tedy ve stavebnictví,

potravinářství, pro jemnou mechaniku, na letadla, vozidla apod. Typické výrobky: kabiny letadel a vrtulníků, krytiny, intarzie, rámy dveří, přepážky, eskalátory, nábytek, nýtované mosty, mostové jeřáby, stožáry [4].

Tab. 1 Složení slitiny EN AW-6082 [5]

Mg	Mn	Fe	Si	Si+Fe	Cu	Zn	Cr	Další prvky	Celkem ostatních	Al
0,6-1,2	0,4-1,0	≤0,5	0,7-1,3	≤0,1	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,05	≤0,15	Zbytek

Tab. 2 Fyzikální a elastické vlastnosti slitiny EN AW-6082 [5]

Temper	Elastické			Fyzikální				
Značka	E	G	$\nu$	$T_{\text{sol}}$	$T_{\text{liq}}$	$c_p$	$\rho$	$\lambda$
Jednotka	MPa	MPa	-	°C	°C	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	Kg.m <sup>-3</sup>	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
T6	70000	26400	0,33	575	650	894	2710	44

## 2.2. Kalení

### 2.2.1. Kalení vodou

Nejběžnější chladicí médium používané pro slitiny hliníku je voda. Hlavní výhodou použití vodního média je, že může poskytnout velké kalící rychlosti potřebné pro dosažení dobrých vlastností a to u mnoha různých slitin. Voda je také levná a snadno dostupná. Navíc, je poměrně flexibilní v tom, že její chladicí charakteristiky mohou být změněny změnou své teploty [6].

### 2.2.2. Kalení studenou vodou

Použití pokojové teploty vody (běžně nazývané kalení studenou vodou) je nejběžnější praxe pro kalení slitin hliníku. Vodní lázeň je obvykle v teplotním rozmezí 15 – 32 °C.

Většinou je požadováno, aby teplota vodní lázně byla nižší než 32 °C na začátku chlazení a nezvýšila se o více než 5 °C po ukončení kalení [6].

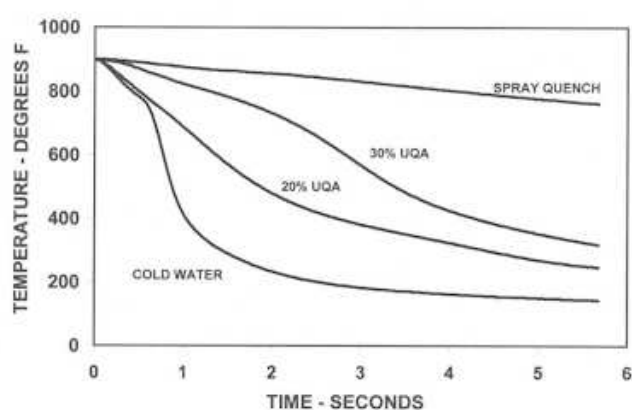
Většina produktů, jako jsou plechy, desky, lišty a některé výkovky a odlitky se kalí ve studené vodě. Nicméně, existují dva hlavní problémy s vodním kalením těchto výrobků:

1. Mnoho částí se během procesu kalení deformuje nebo zkracuje a vyžadují rozsáhlou kontrolu a rovnací operace.
2. Silnější části mohou dosáhnout vysoké úrovně vnitřního pnutí [6].

### 2.2.3. Kalení sprejem (mlhou)

Některé problémy s deformací lze vyřešit pomocí technik stříkacího kalení. Intenzita kalení sprejem (intenzita odvodu tepla) závisí na průtoku chladicí látky, úhlu, pod kterým chladicí látka dopadá na obrobek, na teplotě, čistotě a typu chladicí látky, a také na teplotě součásti. Mezi používané chladicí látky patří voda, vodní polymery a v menší míře olej, vodní mlha a cirkulující vzduch. Voda a vodní polymerní roztoky jsou nejoblíbenější [7].

Při použití spreje, je třeba se ujistit, že kalicí postup je dostačující pro dosažení požadovaných vlastností ve všech částech. Použití sprejového kalení obvykle vede k mnohem nižší kalicí účinnosti ve srovnání s kalením studenou vodou nebo glykolovým kalením. V závislosti na konstrukci systému, může být kalení sprejem ještě pomalejší než vysoké koncentrace polymerů, jak je znázorněno na obrázku 1. V důsledku toho může tento způsob kalení vést k výrazné ztrátě mechanických vlastností, a to zejména při tepelném zpracování citlivých slitin (např. slitin hliníku třídy 2000 a 7000). Tato ztráta vlastností může být obzvláště vysoká, pokud je teplota vodní mlhy vyšší než 71 °C [6].

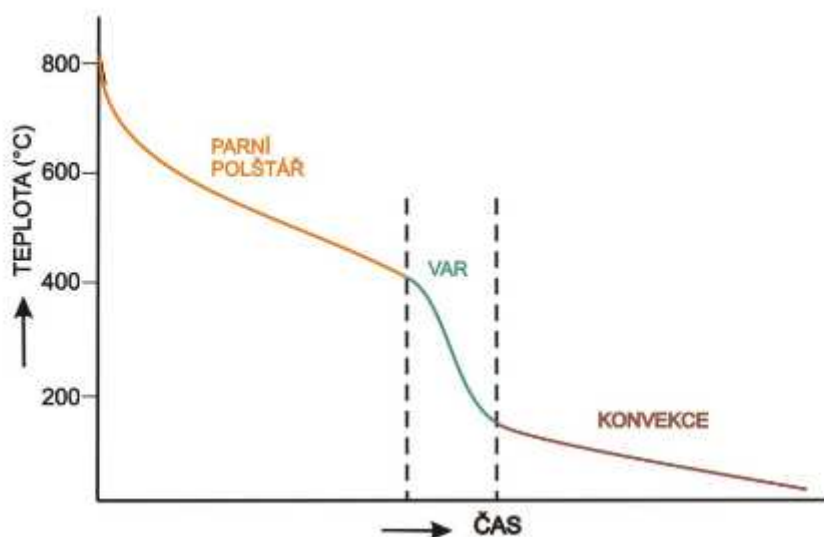


Obr. 1 Chladicí křivky srovnávací kalení sprejem s ostatními metodami [6]

Jedním z hlavních problémů sprejového kalení je zajistit, aby byly všechny plochy rovnoměrně chlazeny. I přes své problémy, je toto kalení u plechového materiálu série 6000 účinně prováděno. Při pečlivé kontrole jsou pláty série 6000 účinně kaleny, protože slitina má nízkou kalicí citlivost [6].

### 2.3. Změna skupenství chladiva při kalení

Ochlazování v prostředí, u nichž dochází v průběhu kalení ke změně skupenství je charakterizováno třemi údobími. V prvním údobí se kolem ochlazované součásti vytváří parní polštář, který tvoří izolační vrstvu. Ochlazování se v tomto údobí zpomalí až po kritickou teplotu, která je u vody 250 – 400 °C. V druhém údobí po dosažení kritické teploty povrchu kalené součásti se parní polštář stává nestabilní, začne se rozrušovat a kapalina začne smáčet povrch. Toto je údobí varu, je charakterizováno prudkým zvýšením rychlosti ochlazování a intenzivní tvorbou bublin páry. V třetím údobí, kdy teplota povrchu materiálu klesne přibližně na bod varu prostředí (vody), se přestávají tvořit páry a další odvod tepla se děje prouděním (konvekcí). Rychlost ochlazování se opět sníží. Pro zrychlení ochlazování v prvním údobí je třeba parní polštář soustavně rozrušovat pohybem předmětu nebo cirkulací lázně [8].



Obr. 2 Příklad průběhu ochlazování v prostředí, jež mění své skupenství [8]



### 3. Seznam požadavků

#### Chladič:

- Stejná intenzita chlazení všech ploch (stran) profilu, pro zamezení deformací profilu v průběhu chlazení

#### Protlačovaný profil:

- Materiál: slitiny hliníku řady 6, např. hliník EN AW - 6082
- Rozměry: šířka: 50 - 210 mm, výška: 10 - 210 mm, max. tloušťka stěny: 10 mm

#### Kalení:

- Médium: vzduch, vodní mlha, vodní lázeň
- Místo chlazení: obvod profilu
- Teploty: chlazení profilu z max. 570 °C na min. 200 °C
- Doba kalení: dle plochy profilu vs. Délka WQ a rychlosti protlačování
- Využití média: Uzavřený oběh (okruh) - voda je z odpadní vany odváděna zpět do nádrže

#### Provoz:

- Prostředí: pracovní hala (15°C – 25°C)
- Četnost použití: 24/7 (dvou až čtyř směnný provoz)
- Požadovaná životnost: 10 let
- Údržba: jednoduchá, max. 1-1,5 hod/týdně (denně) při nepřetržitém provozu

#### Manipulace:

- Odklápění nebo zvedání horní části - „hood“
- Automatické nastavení výšky vstupní strany stolu

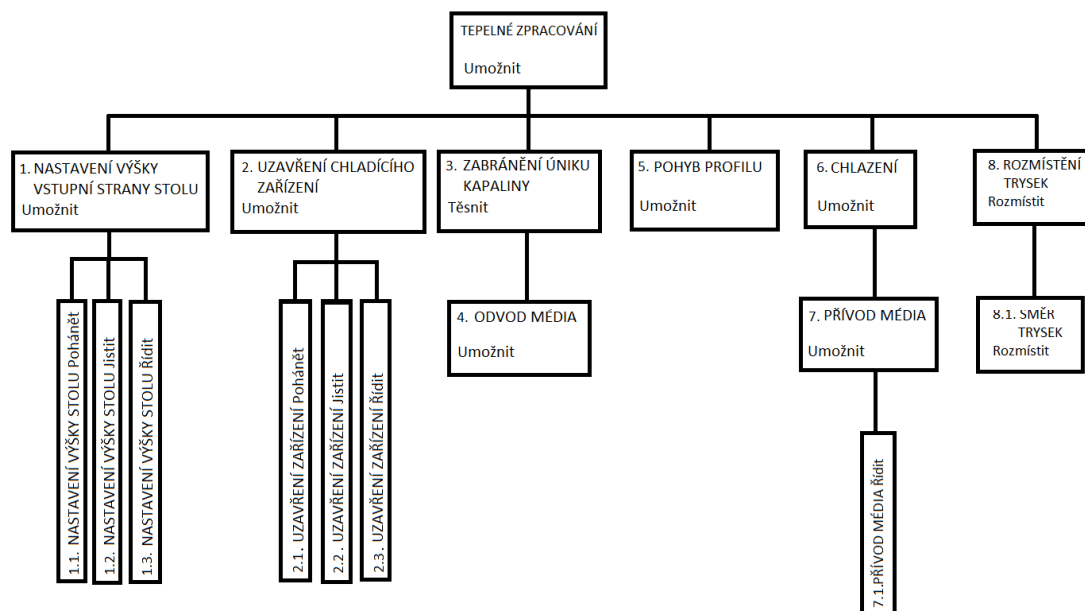
#### Výroba:

- Využití technologií dostupných na území ČR
- Využití materiálů dostupných na území Evropy

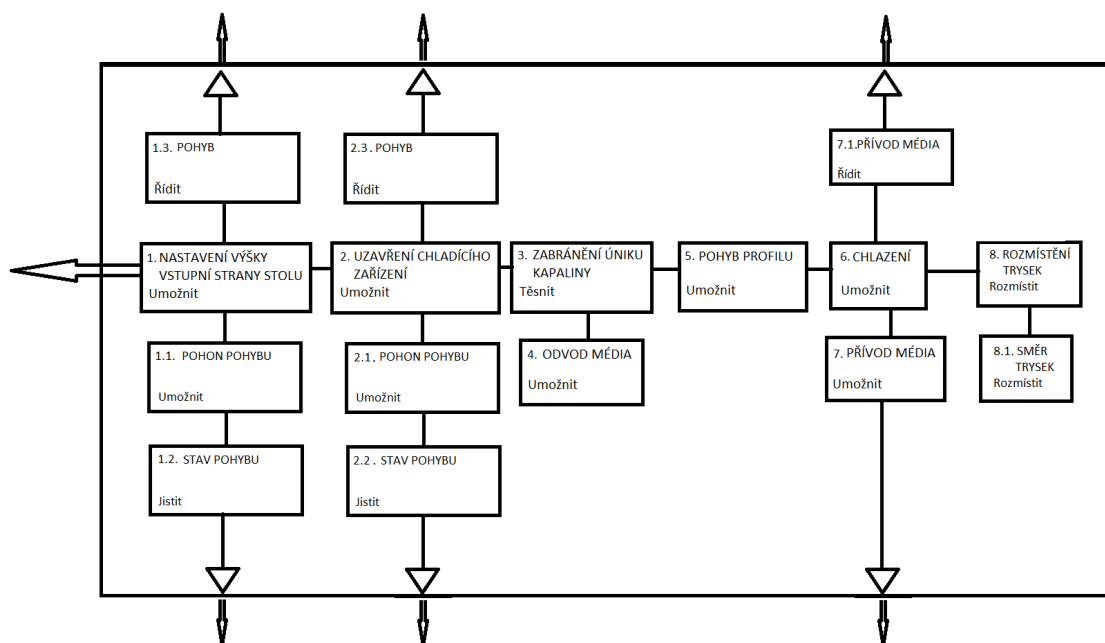
V potaz jsou brány všechny požadavky, ale tato diplomová práce se zaměřuje hlavně na jakost tepelného zpracování protlačovaných profilů.

## 4. Funkční struktura

Funkční struktura znázorňuje funkce, které zařízení vykonává. Hierarchicky je zobrazena funkční struktura na obrázku 3.



Obr. 3 Funkční struktura – hierarchické uspořádání



Obr. 4 Funkční struktura – blokové schéma

## 5. Výpočty

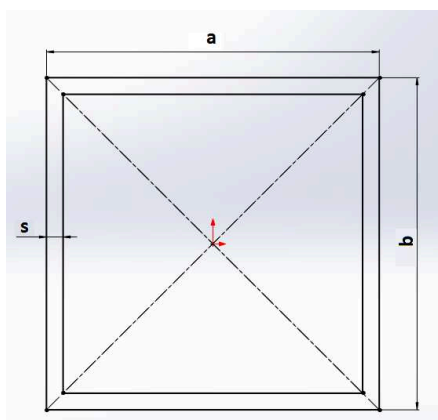
Tab. 3 Zadané hodnoty [10]

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Počáteční teplota hliníku	$t_{Al1}$	570	°C
Koncová teplota hliníku	$t_{Al2}$	200	°C
Teplota vzduchu na vstupu	$t_{vz1}$	20	°C
Teplota vzduchu na výstupu	$t_{vz2}$	50	°C
Teplota vody na vstupu	$t_{v1}$	20	°C
Teplota vody na výstupu	$t_{v2}$	40	°C

Tab. 4 Zadané hodnoty chlazených profilů [10]

Název	Rozměry – šířka (a) x výška (b) x tloušťka (s) [mm]	Rychlost protlačování $v_p$ [m/min]
Velký profil	210 x 210 x 10	3,45
Střední profil	100 x 100 x 5	14,5
Malý profil	50 x 10 x 1	19,7

Všechny profily jsou z hliníku EN AW – 6082. Obecný profil je znázorněn na obrázku 5.



Obr. 5 Obecné rozměry profilu

## 5.1. Výpočet rychlostí proudění médií

### 5.1.1. Výpočet rychlosti proudění vzduchu na výstupu z trysky

Tab. 5 Zadané hodnoty [10]

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Využití ventilátorů	$\eta_{vz}$	90	%
Využití čerpadel	$\eta_v$	90	%
Objemový průtok ventilátoru	$Q_{vz}$	1,14	$m^3 \cdot s^{-1}$
Objemový průtok čerpadla	$Q_v$	0,025	$m^3 \cdot s^{-1}$
Maximální poměr vody ve vzduchu u kalení mlhou	$z$	20	%
Současný počet horních trysek	$n$	8	-
Počet otvorů v horní trysce	$p_{vz}$	78	-
Velikost otvoru trysky	$d_{vz}$	0,008	m

#### Výpočet rychlosti proudění vzduchu z horní trysky

$$v_{1vz} = \frac{Q_{vz} \cdot \frac{\eta_{vz}}{100}}{S} = \frac{1,14 \cdot 0,9}{0,0314} = 32,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (1)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d_{vz}^2}{4} \cdot p_{vz} \cdot n = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} \cdot 78 \cdot 8 = 0,0314 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Tento výpočet udává součastnou rychlost vzduchu na výstupu z horních trysek. Vychází se tedy z toho, že původní chladicí zařízení mělo 8 horních trysek. Nicméně je tato rychlost použita a výkon nebo množství ventilátorů, potažmo čerpadel, se musí poté přizpůsobit novému řešení chladicího zařízení.

Výstupní rychlosti z bočních a spodních trysek jsou zaznamenány v tabulce 6. Výsledky rychlostí jsou rozdílné, protože je i rozdílný počet horních, bočních a dolních trysek, tak jako počet otvorů v tryskách. Konkrétní výpočty viz. příloha – Excel.

Tab. 6 Vypočtené výstupní rychlosti z trysek

Tryska	Horní	Boční	Dolní
Současný počet trysek	8	14	8
Velikost otvoru trysky [m]	0,008	0,008	0,008
Počet otvorů v trysce	78	46	78
Rychlost $v_{lv}$ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	32,7	31,7	32,7

Pro další výpočty je volena nejvyšší rychlost, tedy  $32,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , jelikož je počítáno z účinností ventilátorů 90 %. Je tedy počítáno s rezervou 10 %, z čehož vyplývá, že rychlosti mohou být ještě vyšší [10].

### 5.1.2. Výpočet rychlosti vody na výstupu z trysky a koncová rychlost

Tab. 7 Zadané hodnoty [10]

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Současný počet horních trysek	n	8	-
Počet otvorů v horní trysce	$p_v$	37	-
Velikost otvoru horní trysky	$d_v$	0,0014	m

Pro upřesnění - počet otvorů v trysce pro vzduch a vodu je rozdílný.

#### Výpočet rychlosti proudění vody z horní trysky

$$v_{1v}^* = \frac{Q_v \cdot \frac{\eta_v}{100}}{S} = \frac{0,025 \cdot 0,9}{0,0314} = 49,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} \cdot p_v \cdot n = \frac{\pi \cdot 0,0014^2}{4} \cdot 37 \cdot 8 = 0,0005 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Tab. 8 Vypočtené výstupní rychlosti z trysek

Tryska	Horní	Boční	Dolní
Současný počet trysek	8	14	8
Velikost otvoru trysky [m]	0,0014	0,0012	0,0014
Počet otvorů v trysce	37	20	37
Rychlost $v_{1v}^*$ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	49,4	71,1	49,4

Opět je volena nejvyšší rychlost, tedy  $71,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Voda ale neproudí vypočtenou rychlostí, protože se proud vody vně trysky roztrhne a zpomalí. Je tedy uvažováno s 10 procentní rychlostí [10]. Platí tedy:

$$v_{1v} = v_{1v}^* \cdot 0,1 = 71,1 \cdot 0,1 = 7,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

Jelikož je tato rychlost odhadovaná, je v dalších výpočtech uvažováno, že se výstupní rychlost vody z trysky rovná dopadové rychlosti vody na chlazený profil [10]. Platí tedy:

$$v_{1v} = v_{2v} \quad (6)$$

### 5.1.3. Výpočet rychlosti vodní mlhy na výstupu z trysky

Protože vzduch unáší vodní kapičky, je volena výstupní rychlost vzduchu jako rychlost vodní mlhy. Tato rychlost je snížena o 10 % kvůli vodním kapičkám, které musí vzduch navíc unášet [10]. Platí tedy:

$$v_{1vm} = v_{1vz} \cdot 0,9 = 32,7 \cdot 0,9 = 29,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (7)$$

### 5.1.4. Výpočet koncové rychlosti mlhy

Je volen objem vodní kapky o velikosti  $1 \text{ mm}^3$ , viz. tabulka 9.

Tab. 9 Použité hodnoty

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Tvarový součinitel [12]	$C_x$	0,1	-
Objem kapky	$V_k$	$1 \cdot 10^{-9}$	$\text{m}^3$
Čelní plocha kapky	$S_k$	0,000001	$\text{m}^2$
Hustota vzduchu při 20 °C [18]	$\rho_{vz}$	1,205	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Hustota vody při 20 °C [14]	$\rho_v$	998,2	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Odpor vzduchu [12]

$$F_{vz} = C_x \cdot \frac{1}{2} \rho_{vz} \cdot v_{1vm}^2 \cdot S_k = 0,1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,205 \cdot 29,4^2 \cdot 0,000001 = 5,22 \cdot 10^{-5} \text{ N} \quad (8)$$

Hmotnost kapky

$$m = V_k \cdot \rho_v = 1 \cdot 10^{-9} \cdot 998,2 = 9,98 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \quad (9)$$

Rychlost dopadu vodní mlhy na horní stranu chlazeného profilu

$$E_2 = E_1 + A \quad (10)$$

$$E_{k2} + E_p = E_{k1} + E_p + A \quad (11)$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{2vm}^2 + 0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{1vm}^2 + m \cdot g \cdot h - F_{vz} \cdot h \quad (12)$$

Je volena vzdálenost trysky  $h$  od chlazeného profilu. Tato vzdálenost  $h$  má hodnotu od 100 mm po 500 mm. Ve vzorovém příkladu je počítáno s hodnotou 100 mm. Další výsledné hodnoty pro ostatní vzdálenosti  $h$  jsou zaznamenány v tabulce 10. Tato rozmezí jsou volena z důvodu ověření účinností při různých vzdálenostech trysky.

$$v_{2vm} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{1vm}^2 - F_{vz} \cdot h + m \cdot g \cdot h\right) \cdot 2}{m}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 9,98 \cdot 10^{-7} \cdot 29,4^2 - 5,22 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 + 9,98 \cdot 10^{-7} \cdot 9,81 \cdot 0,1\right) \cdot 2}{9,98 \cdot 10^{-7}}} =$$

$$= 29,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (13)$$

Tab. 10 Vypočtené koncové rychlosti vodní mlhy

Vzdálenost h [m]	Koncová rychlost $v_{2vm}$ [m.s <sup>-1</sup> ]
0,1	29,3
0,2	29,1
0,3	29,0
0,4	28,9
0,5	28,7

Z výsledků vyplývá, že na tak malé vzdálenosti jako je 0,5 m vodní mlha téměř nezpomalí. Proto jsou v dalších výpočtech použity nejvyšší rychlosti bez ohledu na vzdálenost trysek. Je tedy použita rychlost  $v_{2vm}=29,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Byly také provedeny výpočty koncové rychlosti pro boční a spodní trysky, kde gravitace tuto rychlost snižuje. Rozdíl je však v řádech desetin. Tyto výpočty v diplomové práci nejsou zapsány, ale jsou k nahlédnutí v příloze – Excel.

### 5.1.5. Výpočet koncové rychlosti vzduchu

#### Rychlost dopadu vzduchu na horní stranu chlazeného profilu

Za předpokladu, že rychlost vodní mlhy je o 10 % pomalejší než rychlost vzduchu platí:

$$v_{2vz} = v_{2vm} \cdot \frac{100}{90} = 29,3 \cdot \frac{100}{90} = 32,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (14)$$

Je možné uvažovat dvě řešení trysek. A sice trysky pevné nebo pohyblivé. Protože se ale počáteční a koncové rychlosti médií téměř rovnají, nemá přibližování nebo oddalování trysek na tak malé vzdálenosti žádný efekt. Je tedy volena varianta stacionárních trysek.



## 5.2. Určující teplota

Pro další postup je důležité zjistit určující teplotu, tedy střední teplotu jednotlivých médií, podle které jsou vyhledány konstanty. Hodnoty pro výpočet jsou zaznamenány v tabulce 3.

### Určující teplota vzduchu

$$t_{vz,U} = \frac{t_{vz1} + t_{vz2}}{2} = \frac{20 + 50}{2} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (zaokrouhleno na } 30 \text{ }^{\circ}\text{C)} \quad (15)$$

Konstanty pro vzduch jsou hledány pro teplotu 30 °C.

### Určující teplota vody

$$t_{v,U} = \frac{t_{v1} + t_{v2}}{2} = \frac{20 + 40}{2} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (16)$$

### Určující teplota vodní mlhy

Vodní mlha se skládá ze vzduchu a vody, je tedy použita počáteční teplota 20 °C. Výstupní teplota je 100 °C, jelikož je předpokládáno odpaření vody.

$$t_{vm,U} = \frac{t_{vm1} + t_{vm2}}{2} = \frac{20 + 100}{2} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

## 5.3. Výpočet součinitele přestupu tepla

Tabulky 11 a 12 obsahují dvojí hodnoty vzduchu a vody, a to pro teplotu 30 °C (vzduch a voda) a 60 °C (vodní mlha).

Tab. 11 Hodnoty vzduchu

Název	Značka	Hodnoty při 30 °C	Hodnoty při 60 °C	Jednotka
Měrná tepelná kapacita [11]	$c_{pvz}$	1006	1008	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Dynamická viskozita [17]	$\eta_{vz}$	$1,854.10^{-5}$	$1,994.10^{-5}$	$\text{Pa.s}$
Kinematická viskozita [18]	$\nu_{vz}$	$1,604.10^{-5}$	$1,890.10^{-5}$	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
Tepelná vodivost [18]	$\lambda_{vz}$	0,0264	0,0285	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Tab. 12 Hodnoty vody

Název	Značka	Hodnoty při 30 °C	Hodnoty při 60 °C	Jednotka
Měrná tepelná kapacita [14]	$c_{pv}$	4176	4181	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Dynamická viskozita [17]	$\eta_v$	$79,8.10^{-5}$	$46,7.10^{-5}$	Pa.s
Kinematická viskozita [17]	$\nu_v$	$8,01.10^{-7}$	$4,75.10^{-7}$	$m^2.s^{-1}$
Tepelná vodivost [14]	$\lambda_v$	0,615	0,658	$W.m^{-1}.K^{-1}$

V tabulce 13 jsou hodnoty vodní mlhy, které vychází z hodnot vzduchu a vody. Mlha je tvořena 20 procenty vody a 80 procenty vzduchu, viz. tabulka 5.

Tab. 13 Hodnoty vodní mlhy

Název	Značka	Hodnoty	Jednotka
Měrná tepelná kapacita	$c_{pvm}$	1643	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Dynamická viskozita	$\eta_{vm}$	$10,94.10^{-5}$	Pa.s
Kinematická viskozita	$\nu_{vm}$	$1,522.10^{-5}$	$m^2.s^{-1}$
Tepelná vodivost	$\lambda_{vm}$	0,1544	$W.m^{-1}.K^{-1}$

### Prandltovo číslo

Prandltova čísla jsou vypočtena ze vzorce 18 [19] a zapsána do tabulky 14.

$$Pr = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} \quad (18)$$

Tab. 14 Vypočtené hodnoty Prandltova čísla

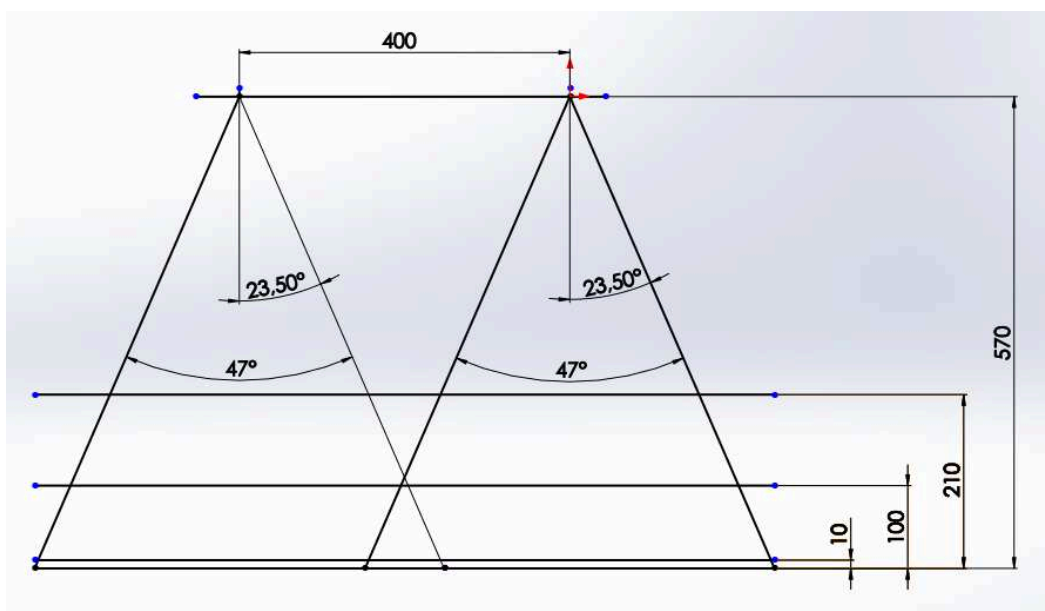
	Vzduch	Voda	Mlha
Pr [-]	0,706	5,419	1,163

### 5.3.1. Vzdálenosti a rozvržení trysek

#### Rozvržení horních trysek

Jako optimální rozložení horních trysek je vybrána varianta znázorněná na obrázku 6. Trysky stříkají médium pod úhlem  $47^\circ$ . Aby se chladila co možná největší plocha, je volena vzdálenost trysek od sebe 400 mm. Vzdálenost trysek od spodních válečků, po kterých jede protlačovaný profil, je pak 570 mm.

Při takovémto rozvržení se proud média protíná u nejmenšího profilu. U středního (nejběžnějšího) profilu je chlazená plocha stoprocentní a proud se téměř neprotíná. Nejméně používaný profil, tedy ten největší, nemá pokrytou celou plochu, protože kdyby ano, u menších profilů by docházelo k velkému překrytí a tudíž k neefektivnosti. Vzdálenosti trysek od profilů viz. tabulka 15.



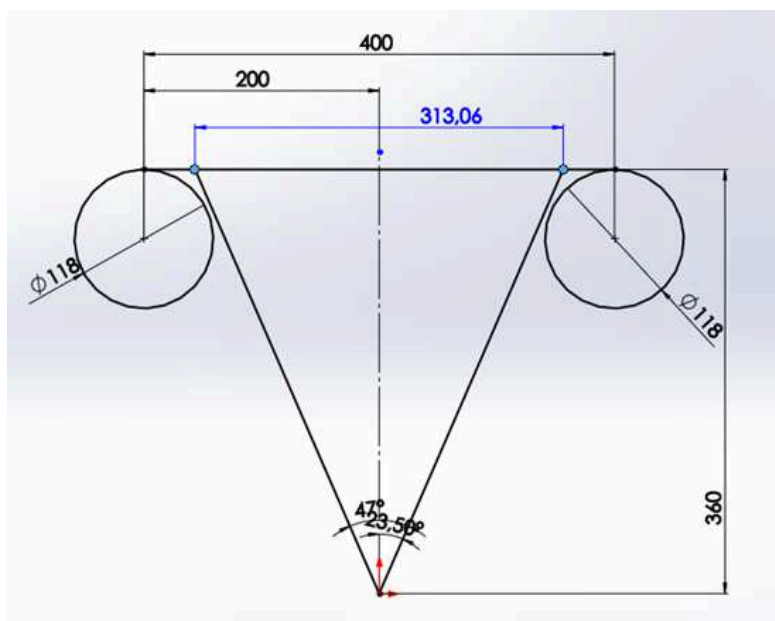
Obr. 6 Rozvržení trysek

#### Rozvržení bočních trysek

Boční trysky jsou od sebe také vzdáleny 400 mm a vzdálenost od profilu byla zachována z původního zařízení viz. tabulka 15.

### Rozvržení dolních trysek

Dolní trysky jsou od sebe vzdáleny 400 mm a od profilu jsou oddáleny (oproti původnímu řešení) na vzdálenost 360 mm. Tato vzdálenost je volena a proměřena pro maximální efektivitu chlazení tak, aby médium chladilo co největší plochu. Oproti původnímu řešení jsou trysky umístěny přesně mezi válce, aby byla efektivita ještě navýšena. Rozvržení spodních trysek je znázorněno na obrázku 7.



Obr. 7 Rozvržení spodních trysek

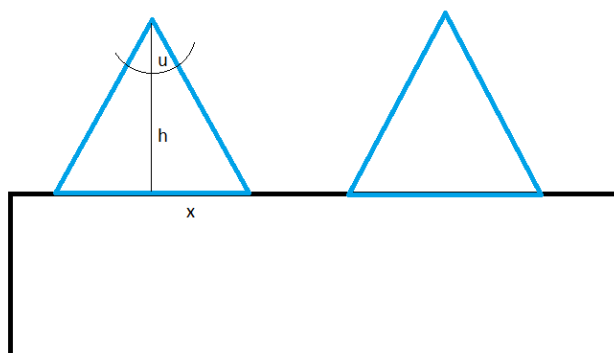
Tab. 15 Vzdálenosti trysek od chlazených profilů

Profil [mm]	h horní [m]	h boční [m]	h dolní [m]
210 x 210 x 10	0,360	0,230	0,360
100 x 100 x 5	0,470	0,285	0,360
50 x 10 x 1	0,560	0,310	0,360

### Výpočet rozptylu stříkání trysek x

Do vzorce 19 jsou dosazeny hodnoty h z tabulky 15. Výsledky jsou zapsány v tabulce 16.

$$x = h \cdot \operatorname{tg} \frac{u}{2} = 0,360 \cdot \operatorname{tg} \frac{47}{2} = 0,157 \text{ m} \quad (19)$$



Obr. 8 Rozptyl stříkání trysek

Tab. 16 Velikost rozptylu jednotlivých trysek na jednotlivé profily

Profil [mm]	x horní [m]	x boční [m]	x dolní [m]
210 x 210 x 10	0,157	0,100	0,157
100 x 100 x 5	0,204	0,124	0,157
50 x 10 x 1	0,243	0,135	0,157

### Hydraulický průměr

Pro zjištění Reynoldsova čísla je zapotřebí vypočítat hydraulický průměr [20].

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{o} = \frac{4 \cdot a \cdot 2 \cdot x}{2 \cdot (a + 2 \cdot x)} = \frac{4 \cdot 0,21 \cdot 2 \cdot 0,157}{2 \cdot (0,21 + 2 \cdot 0,157)} = 0,251 \text{ m} \quad (20)$$

Hydraulický průměr je vypočten pro všechny tři trysky, tedy horní, boční a dolní, a pro všechny tři profily. Hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 17.

Tab. 17 Hodnoty hydraulického průměru

Profil [mm]	$d_h$ horní [m]	$d_h$ boční [m]	$d_h$ dolní [m]
210 x 210 x 10	0,251	0,205	0,251
100 x 100 x 5	0,161	0,143	0,152
50 x 10 x 1	0,091	0,019	0,086

Reynoldsovo číslo

Do vzorce 21 [20] jsou dosazeny rychlosti z tabulek 6 a 10. Dále hydraulické průměry z tabulky 17 a kinematické viskozity z tabulek 11 a 13. Výsledky jsou zapsány v tabulce 18. Není počítáno s vodou, jelikož vychází z jiných vzorců. S vodou je počítáno až dále.

$$Re = \frac{v_z \cdot d_h}{\nu} = \frac{32,7 \cdot 0,251}{1,604 \cdot 10^{-5}} = 510125 [-] \quad (21)$$

Tab. 18 Výsledná Reynoldsova čísla

Profil	Médium	Re horní [-]	Re boční [-]	Re dolní [-]
210 x 210 x 10	Vzduch	510 125	415 776	510 125
	Mlha	566 814	461 980	566 814
100 x 100 x 5	Vzduch	326 081	289 182	307 606
	Mlha	309 386	274 376	291 856
50 x 10 x 1	Vzduch	184 036	39 135	174 984
	Mlha	174 613	37 131	166 025

### Nusseltovo číslo

Z vypočtených Reynoldsových a Prandltových čísel je vzorcem 22 [15] vypočteno Nusseltovo číslo pro obtékání čtvercových profilů. Vypočtené hodnoty jsou zapsány v tabulce 19.

$$Nu = 0,104 \cdot Re^{0,675} \cdot Pr^{0,35} = 0,104 \cdot 510125^{0,675} \cdot 0,706^{0,35} = 656 [-] \quad (22)$$

Tab. 19 Výsledná Nusseltova čísla

Profil	Médium	Nu horní [-]	Nu boční [-]	Nu dolní [-]
210 x 210 x 10	Vzduch	656,0	571,4	656,0
	Mlha	1011,2	880,8	1011,2
100 x 100 x 5	Vzduch	485,0	447,2	466,2
	Mlha	557,3	513,9	535,8
50 x 10 x 1	Vzduch	329,6	115,9	318,6
	Mlha	378,8	133,2	366,1

### **5.3.2. Součinitel přestupu tepla vzduchu a mlhy**

Součinitel přestupu tepla [20] vychází z Nusseltova čísla viz. tabulka 19, hydraulického průměru viz. tabulka 17 a tepelné vodivosti médií viz. tabulka 11 a 13.

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} = \frac{656 \cdot 0,0264}{0,251} = 69 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (23)$$

Výsledky jsou zapsány v tabulce 20. Od začátku je počítáno pro vodní mlhu s poměrem vody ve vzduchu 20 %. Aby bylo dosaženo co nejrovnoměrnějšího přestupu tepla, je tento poměr pro boční a dolní trysky upraven (viz. příloha – Excel). Upravený poměr je zaznačen do závorek. Poměr u horních trysek zůstává stejný.

Tab. 20 Součinitelé přestupu tepla

Profil	Médium	$\alpha$ horní [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ boční [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ dolní [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
210 x 210 x 10	Vzduch	69	74	69
	Mlha (mn. vody)	580	585 (19 %)	580 (20%)
100 x 100 x 5	Vzduch	80	83	81
	Mlha (mn. vody)	536	541 (19,5 %)	531 (19,5 %)
50 x 10 x 1	Vzduch	96	159	98
	Mlha (mn. vody)	645	636 (12 %)	637 (19,5 %)

### 5.3.3. Součinitel přestupu tepla vody

Tento výpočet součinitele přestupu tepla při fázové přeměně se opírá o množství odhadovaných vzorců, přičemž každý nabízí jiné výsledky. Proto je tento výpočet z velké části odhadovaný. Je použit vzorec s nejmenším součinitelem přestupu tepla (vzorec 27).

Tab. 21 Znamé hodnoty

Název	Značka	Hodnoty	Jednotka
Hustota vody při 30 °C	$\rho_v$	1643	kg.m <sup>3</sup>
Atmosférický tlak	$p_{atm}$	$10,94 \cdot 10^{-5}$	Pa
Původní teplosměnná plocha profilu 210 x 210 x 10	$\Sigma S$	1,640	m <sup>2</sup>
Původní teplosměnná plocha profilu 100 x 100 x 5	$\Sigma S$	0,924	m <sup>2</sup>
Původní teplosměnná plocha profilu 50 x 10 x 1	$\Sigma S$	0,358	m <sup>2</sup>



Jelikož se teplosměnná plocha vypočte právě ze součinitele přestupu tepla  $\alpha$ , je pro tento výpočet použita původní teplosměnná plocha. Původní teplosměnné plochy profilů viz. příloha – Excel.

#### Výpočet tlaku vody

$$p_v = \frac{1}{2} \rho_v \cdot v_{v2}^2 = \frac{1}{2} 995,6 \cdot 7,1^2 = 25130 \text{ Pa} \quad (24)$$

#### Výpočet celkového tlaku

$$p = p_v + p_{atm} = 25130 + 101325 = 126455 \text{ Pa} \quad (25)$$

Tlak je pro všechny trysky stejný.

#### Hustota tepelného toku [11]

Hodnota  $\Phi$  viz. tabulka 24.

$$q = \frac{\Phi}{\Sigma S} = \frac{412350}{1,64} = 251443 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (26)$$

#### Součinitel přestupu tepla při varu [15]

$$\alpha = 1,86 \cdot q^{0,7} \cdot p^{0,24} \quad (27)$$

Tento vzorec je ze staré literatury, kde se počítá ve starých jednotkách. Pro přehlednost je v této diplomové práci pouze tabulka s výslednými hodnotami. Pro podrobnější náhled přepočtu viz. příloha – Excel.

Tab. 22 Součinitelé přestupu tepla vody při varu

Profil [mm]	$\alpha$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
210 x 210 x 10	12417
100 x 100 x 5	18524
50 x 10 x 1	6302

Hodnoty v tabulce 22 odpovídají přestupu tepla při bublinkovém varu, ale ještě než k němu dojde, vytvoří se parní polštář. Jak je patrné z obrázku 2, při vytvoření parního polštáře je přestup tepla mnohem pomalejší než u varu. Je tedy volena pouze třetinová účinnost při

vytvoření parního polštáře. Je také patrné, že trvání parního polštáře je mnohem delší než trvání varu. Proto je volena doba trvání parního polštáře na  $\frac{2}{3}$  a trvání varu na  $\frac{1}{3}$ .

#### Součinitel přestupu tepla při parním polštáři

$$\alpha_p = \frac{1}{3} \alpha = \frac{1}{3} \cdot 12417 = 4139 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (28)$$

#### Výsledný součinitel přestupu tepla

$$\alpha_v = \frac{1}{3} \cdot \alpha + \frac{2}{3} \cdot \alpha_p = 6898 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (29)$$

Tab. 23 Součinitelé přestupu tepla vody

Profil [mm]	$\alpha_v [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
210 x 210 x 10	6898
100 x 100 x 5	10291
50 x 10 x 1	3501

## 5.4. Množství energie odebrané protlačovanému profilu

#### Plocha protlačovaného profilu

$$\begin{aligned} S &= (a \cdot b) - (a - 2s) \cdot (b - 2s) = \\ &= (0,21 \cdot 0,21) - (0,21 - 2 \cdot 0,01) \cdot (0,21 - 2 \cdot 0,01) = 0,008 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (30)$$

#### Měrná hmotnost hliníku [20]

Rychlost protlačování  $v_p$  viz. tabulka 4. Hustota hliníku  $\rho_{Al}$  viz. tabulka 2.

$$\dot{m}_{Al} = S \cdot v_p \cdot \rho_{Al} = 0,008 \cdot 3,45 \cdot 2710 = 74,8 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1} = 1,247 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (31)$$

#### Odebraný výkon [20]

Měrná tepelná kapacita hliníku  $c_{p,Al}$  viz. tabulka 2. Teploty hliníku  $t_{Al}$  viz. tabulka 3.

$$\Phi_{Al} = \dot{m}_{Al} \cdot c_{p,Al} \cdot (t_{Al1} - t_{Al2}) = 1,247 \cdot 894 \cdot (570 - 200) = 412350 \text{ W} \quad (32)$$

Vzorový výpočet je proveden pro největší profil. Hodnoty ostatních profilů jsou zapsány v tabulce 24.

Tab. 24 Odebraný výkon profilům při chlazení

Profil [mm]	S [m <sup>2</sup> ]	$\dot{m}_{Al}$	$\Phi_{Al}$ [W]
210 x 210 x 10	0,008	1,247	412350
100 x 100 x 5	0,002	1,244	411603
50 x 10 x 1	0,0001	0,103	34141

## 5.5. Výpočet délky chladiče

### Střední teploty

Pro výpočet je nutné znát střední teplotu hliníku a jednotlivých médií.

$$t_{Al,S} = \frac{t_{Al1} + t_{Al2}}{2} = \frac{570 + 200}{2} = 385 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (33)$$

$$t_{vz,S} = \frac{t_{vz1} + t_{vz2}}{2} = \frac{20 + 50}{2} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (34)$$

$$t_{v,S} = \frac{t_{v1} + t_{v2}}{2} = \frac{20 + 40}{2} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (35)$$

$$t_{vm,S} = \frac{t_{vm1} + t_{vm2}}{2} = \frac{20 + 100}{2} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (36)$$

### Teoretická velikost teplosměnné plochy [20]

Hodnoty  $\alpha$  jsou do vzorce 37 zadána pro jednotlivá média z tabulek 20 a 22, a je vždy počítáno s hodnotou pro horní trysku. Energie  $\Phi_{Al}$  je dosazována pro jednotlivé profily. Teplota ve jmenovateli je vždy střední teplota hliníku a střední teplota počítaného média. Vzorec 37 je opět vzorový a ostatní výsledky jsou zapsány v tabulce 25.

$$\Sigma S_t = \frac{\Phi_{Al}}{\alpha \cdot (t_{AlS} - t_{vzs})} = \frac{412350}{69 \cdot (385 - 35)} = 17,1 \text{ m}^2 \quad (37)$$

Tab. 25 Teoretická velikost teplosměnné plochy

Profil	Médium	$\Sigma S_t$ [m <sup>2</sup> ]
210 x 210 x 10	Vzduch	17,1
	Voda	0,2
	Mlha	2,2
100 x 100 x 5	Vzduch	14,8
	Voda	0,1
	Mlha	2,4
50 x 10 x 1	Vzduch	1,0
	Voda	0,03
	Mlha	1,2

#### Teoretická délka teplosměnné plochy

Podle vzorce 38 se přepočítá teplosměnná plocha na délku. Tato délka je pak použita pro konstrukci chladicího zařízení.

$$l = \frac{\Sigma S_t}{o} = \frac{\Sigma S_t}{2 \cdot a + 2 \cdot b} = \frac{17,1}{2 \cdot 0,21 + 2 \cdot 0,21} = 20,4 \text{ m} \quad (38)$$

Tab. 26 Teoretická délka teplosměnné plochy

Profil	Médium	$l \text{ [m}^2\text{]}$
210 x 210 x 10	Vzduch	20,4
	Voda	0,2
	Mlha	2,6
100 x 100 x 5	Vzduch	39,6
	Voda	0,3
	Mlha	5,9
50 x 10 x 1	Vzduch	8,5
	Voda	0,2
	Mlha	1,4

Ze začátku se mohlo zdát, že nejhůře se bude chladit největší profil. Z výsledků v tabulce 26 ale vyplývá, že nejdéle se bude muset chladit střední profil 100 x 100 x 5. I když má velký profil čtyřikrát větší průřez, střední profil je protlačován tak rychle, že jsou jejich měrné hmotnosti téměř stejné (viz. tabulka 24). Dále je účinnost chlazení u středního profilu snížena díky menší teplosměnné ploše než u velkého profilu. Chladič je tedy navrhován pro uchlazení středního profilu 100 x 100 x 5.

Z výsledků dále vyplývá, že vzduchem se dané profily téměř nedají uchladit. Jako nejlepší varianta se jeví chlazení vodou, ale chlazení v tak malém úseku proběhne tak rychle, že se profil může zdeformovat a znehodnotit. Proto je dále počítáno Biotovo kritérium.

## 5.6. Určení tenkých a tlustých těles

Podle Biotova kritéria se tělesa dělí na tenká a tlustá. U tenkých těles můžeme předpokládat, že je teplota ve všech bodech stejná. U tlustých těles je povrchová teplota jiná než teplota vně tělesa. Ale pokud je tlusté těleso chlazeno dostatečně pomalu, může se

chovat jako tenké těleso a naopak, pokud je tenké těleso chlazeno příliš rychle, může se chovat jako tlusté těleso [16].

Platí tedy[16]:

$Bi \leq 0,25$  ..... těleso je tenké

$Bi \geq 0,5$  ..... těleso je tlusté

Ve vzorci 39 [16] je vypočteno Biotovo číslo. Je počítáno pouze s hodnotami středního profilu a výsledky jsou zapsány v tabulce 27. Ostatní profily viz. příloha – Excel.

$$Bi = \frac{\alpha \cdot s}{\lambda_{Al}} = \frac{80.0,005}{44} = 0,01 \quad (39)$$

Tab. 27 Určení tenkých a tlustých těles

Médium	Bi [-]	Druh tělesa
Vzduch	0,01	Tenké
Voda	1,17	Tlusté
Mlha	0,06	Tenké

Z výsledků je zřejmé, že takhle intenzivní chlazení vodou nezchladí profil rovnoměrně a může se zdeformovat. Je tedy použito chlazení vodní mlhou, která dokáže oproti vodě zchladit profil rovnoměrně a oproti vzduchu rychle. Délka chlazené oblasti mlhou vyšla  $l=5,9$  m. Je volena zaokrouhlená délka, platí tedy:

$$L= 6 \text{ m}$$

## 5.7. Doba chlazení a ověření MKP analýzou

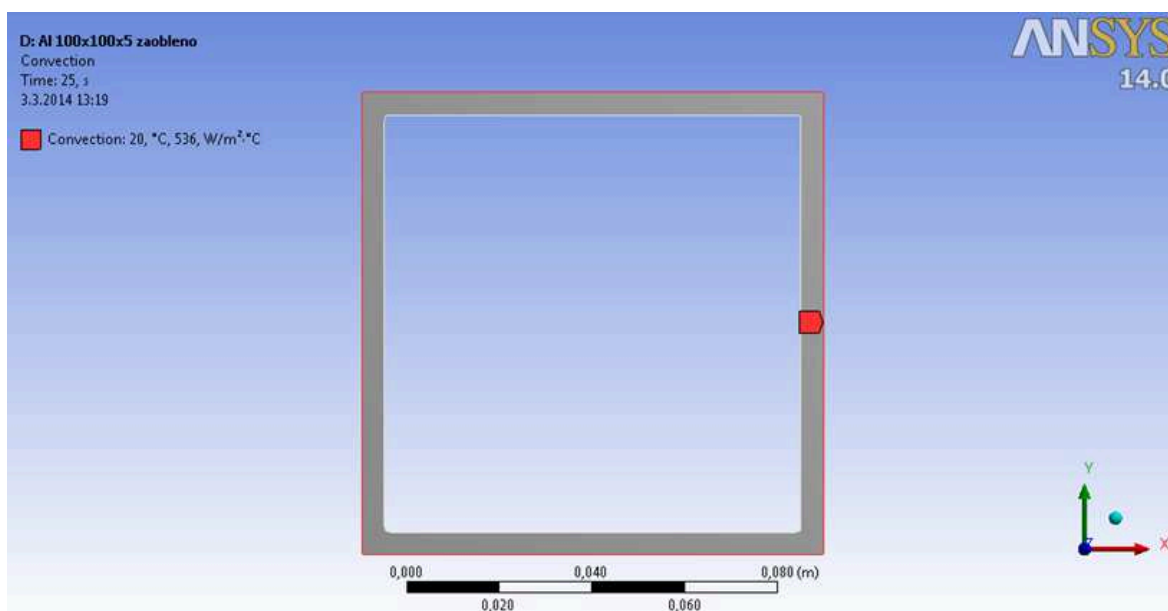
### Doba chlazení středního profilu

$$\tau = \frac{L}{v_p} = \frac{6}{14,5} = 0,414 \text{ min} = 24,8 \text{ s} \doteq 25 \text{ s} \quad (40)$$

Vzorec 40 je pouze pro střední profil a nedá se použít pro ostatní profily. Délka chlazení  $L$  je navržena podle profilu, který se bude chladit nejhůře (střední profil), a proto ostatní

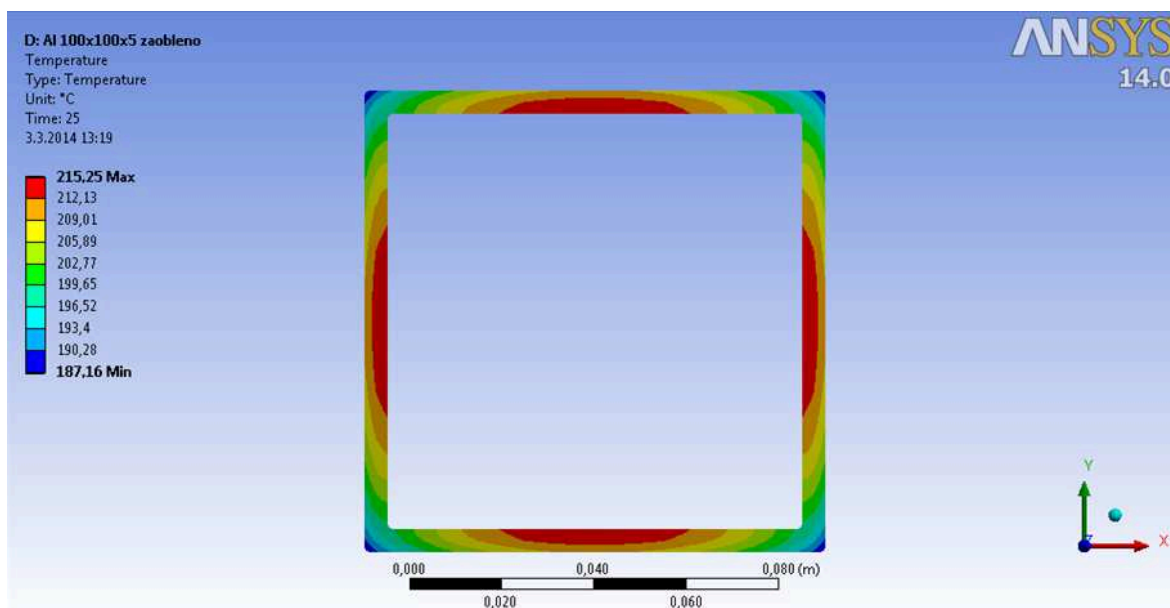
profily potřebují menší chladicí délku. Tuto délku má chladič konstantní, z čehož logicky vyplývá, že se u těchto profilů může zvýšit protlačovací rychlost  $v_p$ . Přepočet velkého a malého profilu na vypočtenou délku chladiče je provedeno pomocí programu Ansys a znázorněno na následujících obrázcích. Stejně tak je v Ansysu pro kontrolu přepočten i střední profil.

Na obrázku 9 jsou znázorněny zadávané hodnoty u středního profilu (v levém horním rohu). Doba chlazení je zadána ze vzorce 40. Teplota chladicího média, tedy vodní mlhy, je 20 °C. Počáteční teplota profilu je pak samozřejmě 570 °C. Součinitel přestupu tepla je brán z tabulky 20 a je počítáno pouze s hodnotou pro horní trysku. Ochlazování se děje konvekcí po celém vnějším obvodu hliníkového profilu (na obrázku znázorněno červenou barvou).



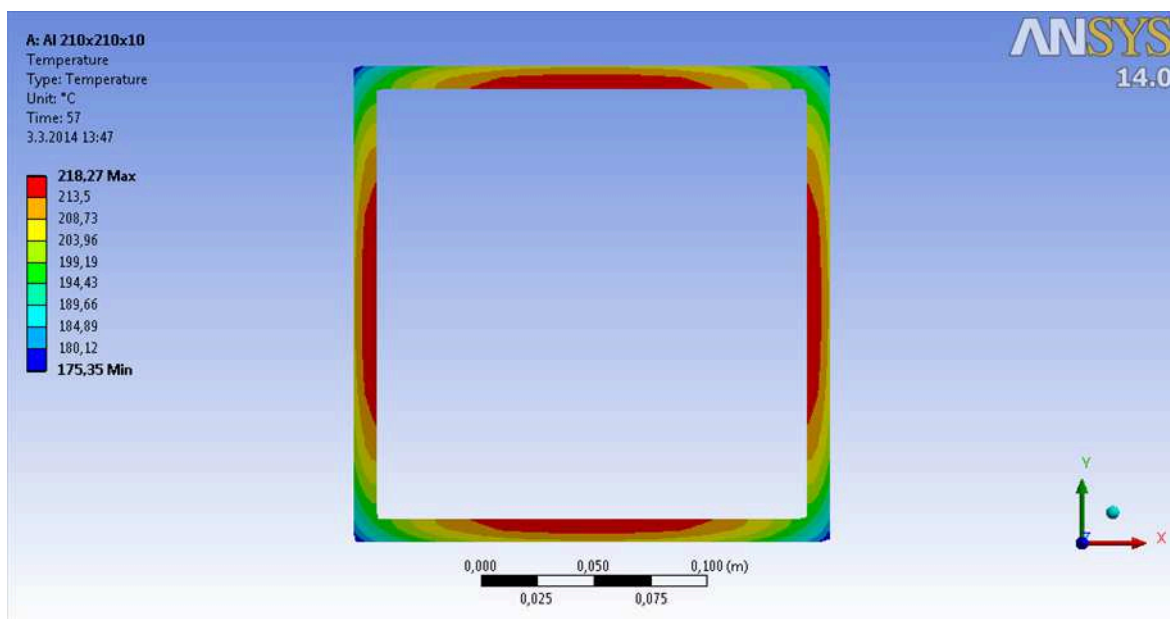
Obr. 9 Zadané parametry

Na obrázku 10 jsou vidět teploty na konci chlazení středního profilu. MKP analýzou je tedy potvrzeno, že se zadaný profil opravdu zchladí na teplotu 200 °C. Samozřejmě není teplota v celém průřezu konstantní, ale pohybuje se v rozumném rozmezí.



Obr. 10 Teploty na konci chlazení středního profilu

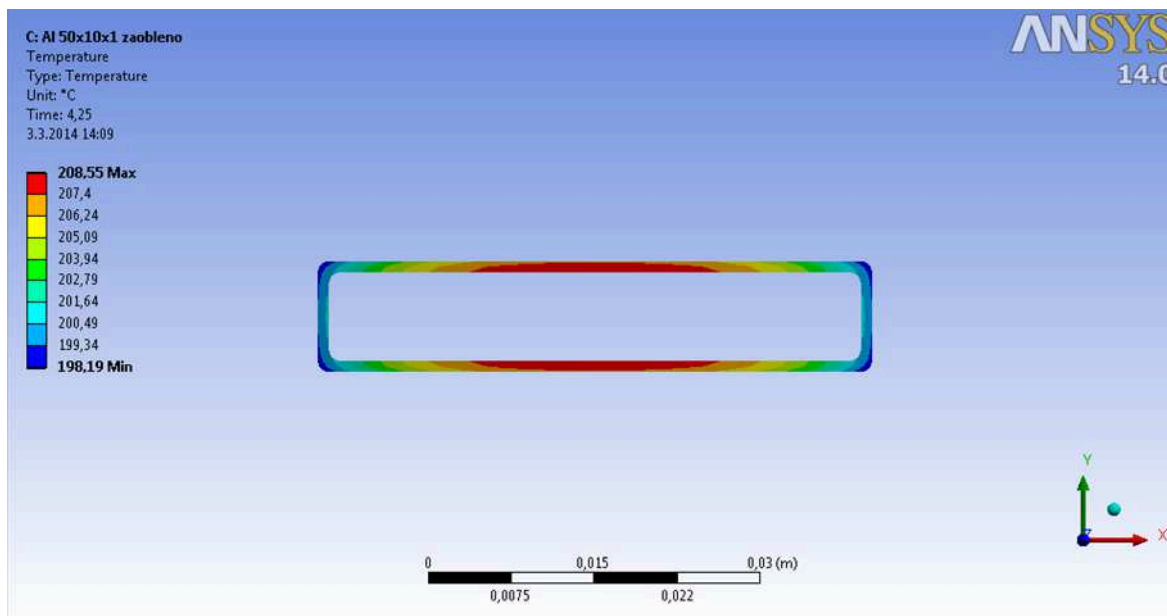
Na obrázku 11 jsou znázorněny teploty na konci chlazení velkého profilu. Parametry jsou zadávány stejně jako v předešlém případě. Je však upravena doba chlazení pro délku chladicí sekce 6 metrů. Teplota profilu se opět pohybuje kolem 200 °C, i když ve větším rozmezí než u středního profilu. Délka chlazení pak trvá 57 vteřin.



Obr. 11 Teploty na konci chlazení velkého profilu



Na obrázku 12 jsou znázorněny teploty na konci chlazení malého profilu. Parametry jsou zadány stejně jako v předchozích případech. Opět je upravena doba chlazení pro délku chladicí sekce 6 metrů. U malého profilu se teploty pohybují v nejmenším rozmezí a na jeho zchlazení stačí 4,25 vteřin.



Obr. 12 Teploty na konci chlazení malého profilu

Když jsou známy časy chlazení, může se přepočíst rychlost protlačování.

#### Rychlost protlačování velkého profilu

$$v_P = \frac{L}{\tau} = \frac{6}{57} = 0,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 6,32 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

#### Rychlost protlačování malého profilu

$$v_P = \frac{L}{\tau} = \frac{6}{4,25} = 1,41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 84,71 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

## 5.8. Počet trysek

Počet horních trysek

$$n_1 = \frac{L}{2x} = \frac{6}{0,408} = 14,5 \doteq 15 \quad (41)$$

Počet dolních trysek je volen stejný jako počet horních trysek. Platí tedy:

$$n_2 = n_1 = 15 \quad (42)$$

Počet bočních trysek je volen o jednu méně než horních (bráno na každé straně, tedy boční levé a boční pravé trysky). Počet bočních levých a pravých je tedy stejný a platí:

$$n_3 = n_4 = n_1 - 1 = 14 \quad (43)$$

## 6. Orgánová struktura

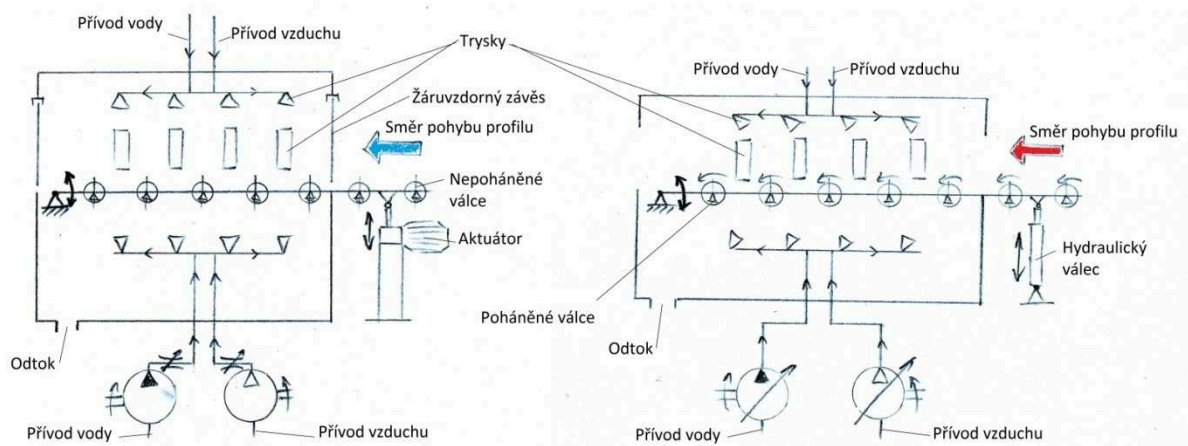
Morfologická matice (tab. 28) vychází z funkční struktury. Jsou v ní zapsány funkce, ke kterým jsou navrženy orgány (nositelé funkcí), tedy každou funkci musí něco vykonávat. Je navrženo několik variant a z nich jsou vybrány ty nejlepší. Jsou vytvořeny dvě varianty, červená a modrá, a ty jsou dále vyhodnocovány v tabulce 29.

Tab. 28 Morfologická matice

Funkce		Orgány – nositelé funkcí		
číslo		1	2	3
1.	Nastavení výšky vstupní strany stolu (umožnit)	Pneumatické válce	Hydraulické válce	Aktuátorem
2.	Uzavření chladícího zařízení (umožnit)	Pneumatické válce	Hydraulické válce	
3.	Zabránění úniku kapaliny (umožnit)	Žárovzdorný závěs	Přechodová komora	Nic
4.	Odvod média (umožnit)	Svod	Vana	
5.	Pohyb profilu (umožnit)	Poháněné válečky	Nepoháněné válečky	Rošt
6.	Chlazení (umožnit)	Vzduchem	Vodou	Mlhou
7.	Přívod média (umožnit)	Hadice	Trubky	
7a.	Přívod média (umožnit)	Tryska (Ferram)	Jiná tryska	
7.1.	Přívod média (řídit)	Škrtkícím ventilem	Ventilátorem - čerpadlem	
8.	Rozmístění trysek (rozmístit)	Nahoře, dole a na bocích	Nahoře a dole	
8a.	Rozmístění trysek (pohybovat)	Ano	Ne	
8.1.	Směr trysek (rozmístit)	Kolmý směr na profil	Rovnoběžný směr s profilem	Šikmý směr s profilem
1.2.	Stav pohybu (jistit)	Jistit pohonem	Mezní polohou	

1.3.	Pohyb (řídit)	Elektronicky		
2.2.	Stav pohybu (jistit)	Jistit pohonem	Mezní polohou	
2.3.	Pohyb (řídit)	Rozvaděč	Obousměrné čerpadlo	

Vybrané varianty jsou znázorněny jako orgánová struktura na obrázku 13. Vlevo je znázorněna modrá varianta a vpravo červená.



Obr. 13 Orgánová struktura

Tab. 29 Vyhodnocení variant

Funkce	Modrá varianta	Červená varianta
Pohyb profilu	4	3
Přívod média	4	2
Natočení trysek	3	1
Technické nedostatky	4	3
Výrobní náklady	3	2
<b>Celkem</b>	<b>18</b>	<b>11</b>

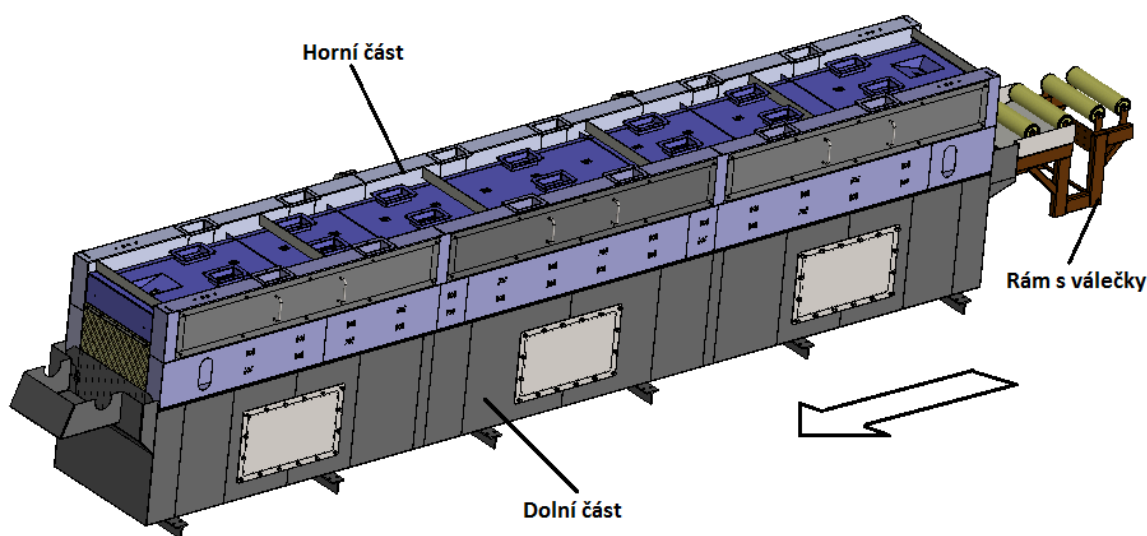
## 7. Hrubá stavební struktura

Obr. 14 Hrubá stavební struktura

## 8. Technický popis zařízení

K technickému popisu jsou pro lepší přehlednost přidány obrázky 3D modelu. Výkresová dokumentace celého zařízení je v příloze.

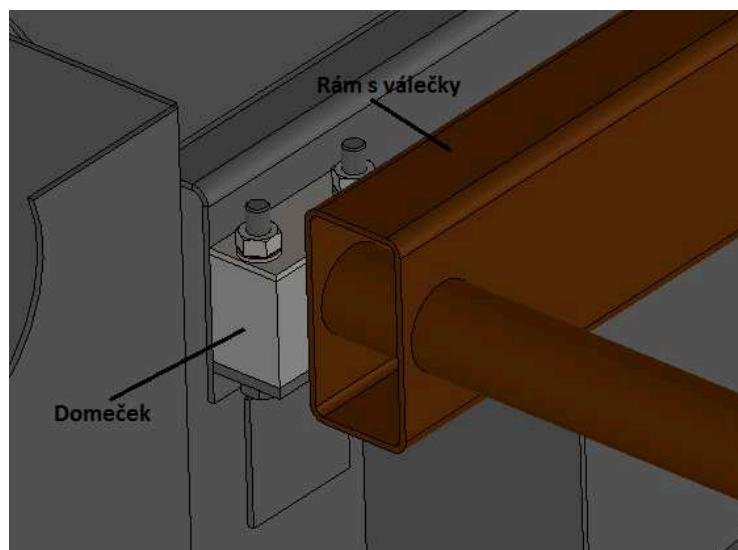
Chladicí zařízení je jen jednou součástí protlačovací linky. Před chladičem stojí lis, který protlačuje hliníkové profily. Takto protlačený profil je tlačén po dopravních válečkách do chladicího zařízení. Celé zařízení a směr pohybu profilů je vidět na obrázku 15.



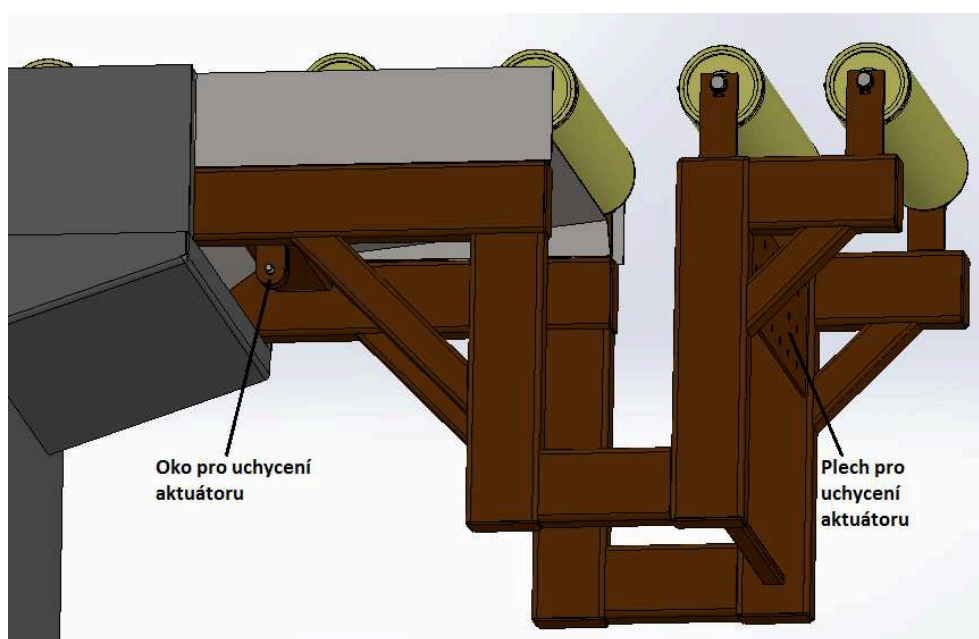
Obr. 15 Chladicí zařízení

Válečky jsou umístěny v jedné rovině na rámu a jsou opatřeny kuličkovými ložisky. Otáčejí se samovolně, tudíž nejsou nijak poháněny. Rám s válečky je na vstupu do chladiče přerušén a veden spodem kvůli pile, která v těchto místech dělí profily na požadované délky.

Celý rám s válečky je možné nastavit do požadované výšky, aby dobře navazoval na lis. Rám je otočně uložen pouze na jedné straně (na vzdálenější straně od lisu), jak je vidět na obrázku 16 (je uložen ve světle šedém domečku). Na opačné straně rámu jsou pak umístěna oka, kde je možné připojit aktuátor, který může celý rám zvednout. Aktuátor je možné připevnit k rámu pomocí šroubů (na obrázku 17 k plechu s dírami). Celé řešení rámu s válečky vychází z původního řešení, jen je změněna délka rámu a rozmístění válečků.

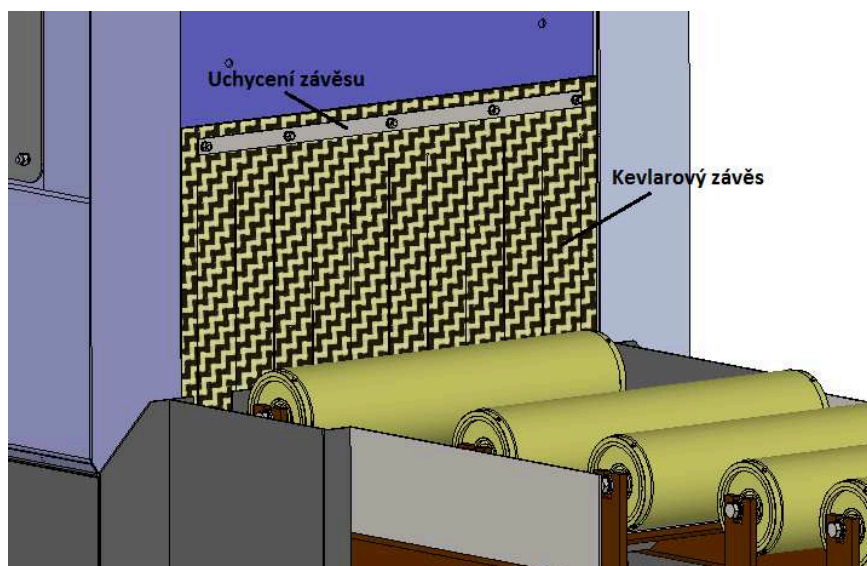


Obr. 16 Uložení rámu



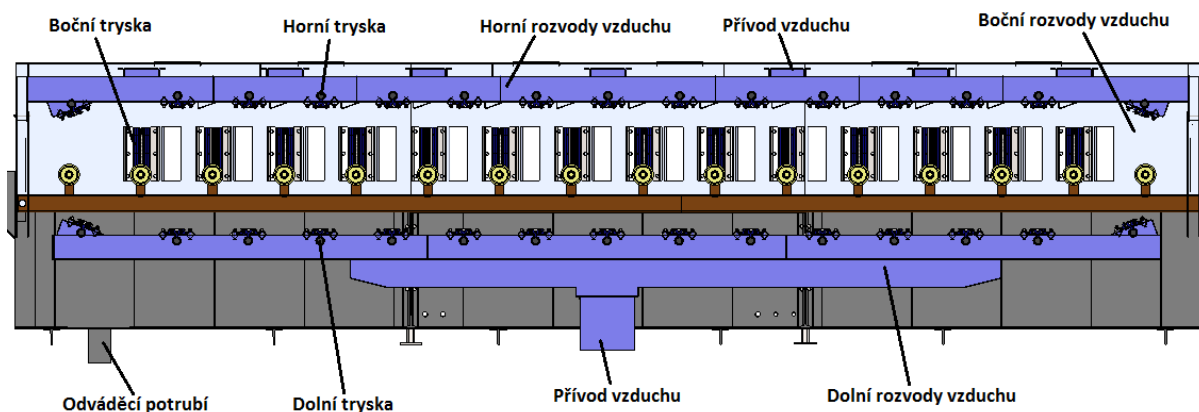
Obr. 17 Okno a uchycení aktuátoru

Před vstupem a výstupem z chladiče jsou upevněny kevlarové závěsy (viz. obrázek 18), které zabraňují úniku kapaliny do haly. Pro lepší efektivitu jsou dva závěsy vedle sebe. Kevlar je volen proto, že je žáruvzdorný, a tak hliníkový profil, který má ze začátku chlazení 570 °C, jej nepoškodí. Toto řešení je přejímáno ze stávajícího zařízení.



Obr. 18 Žáruvzdorný závěs

Uvnitř chladiče je hliníkový profil chlazen ze čtyř směrů. Jak je vidět na obrázku 19, trysky jsou rozmístěny po obvodu profilu (tmavě modře), tedy nahoře, dole a po stranách. Trysky jsou patentem firmy Ferram a jsou multifunkční. Můžou tedy chladit vzduchem, vodou nebo kombinací obou, čili vodní mlhou.



Obr. 19 Řez chladičem

Spodní i horní část chladiče vychází z původního řešení. Celý je však prodloužen zhruba na 6,6 m s efektivní délkou chlazení 6 m. Důvodem prodloužení je zvýšený počet trysek pro lepší chlazení zadaných profilů (viz. výpočty). Trysky jsou od sebe vzdáleny 400 mm, aby mohly co nejefektivněji chladit a jejich proud médií se nepřekrýval. Výjimkou jsou horní a dolní krajní trysky, které jsou od ostatních trysek dál a jsou natočeny dovnitř chladiče. Důvodem je lepší seřízení proudu média a vyšší účinnost.

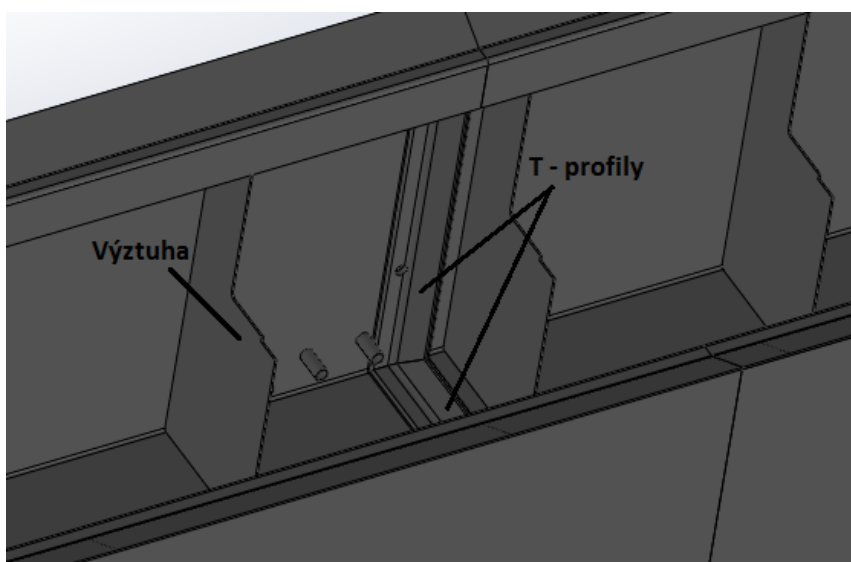


Dále oproti původnímu řešení jsou umístěny spodní trysky přesně mezi válečky, takže je teplosměnná plocha pro všechny trysky rovnoměrná. A jak už bylo zmíněno ve výpočtech, jsou spodní trysky oddáleny od chlazených profilů na vzdálenost 360 mm z původních 163 mm. Tím se zvětšila teplosměnná plocha a zrovnoměnilo se chlazení.

Trysky jsou připevněny k rozvodům vzduchu. Na obrázcích pro horní a dolní trysky jsou znázorněny modrou barvou, pro boční trysky světle modrou. Rozvody vzduchu ve spodní části zabírají hodně místa a díky posunutí trysek je celá spodní část zvýšena. To by mohlo způsobit problémy při napojování chladiče k lisu, proto musí být celé zařízení postaveno pod úroveň podlahy.

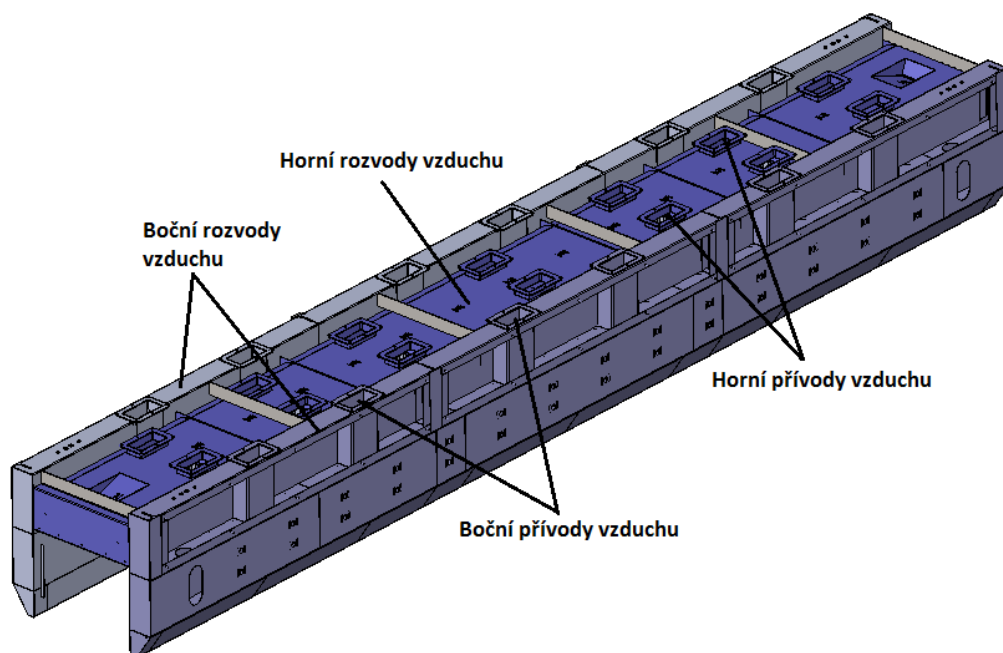
Chladič by nejlépe měl stát nad sklepem, protože odvod vody z dolní části, která tvoří sběrnou jímku a veškerá voda do ní stéká, je sveden dolů pod chladič do nádrže, odkud se voda opět použije pro další chlazení. Na obrázku 19 je tento odvod vody zajištěn potrubím vlevo dole. Přívod vzduchu do spodní části je také veden ze spodu.

Ve spodní části jsou celé rozvody vzduchu položeny a přivařeny na výztuhy viz. obrázek 20. Rozvody tvoří jeden velký díl, ale nesahají až ke stěnám spodního dílu, takže tudý voda steče dolů. Na dně a jedné stěně jsou přivařeny T – profily, které vyztužují chladič, protože jsou k nim připevněna ramena, která zvedají horní díl. T – profily jsou na dně trochu zkráceny, aby kolem mohla protékat voda.



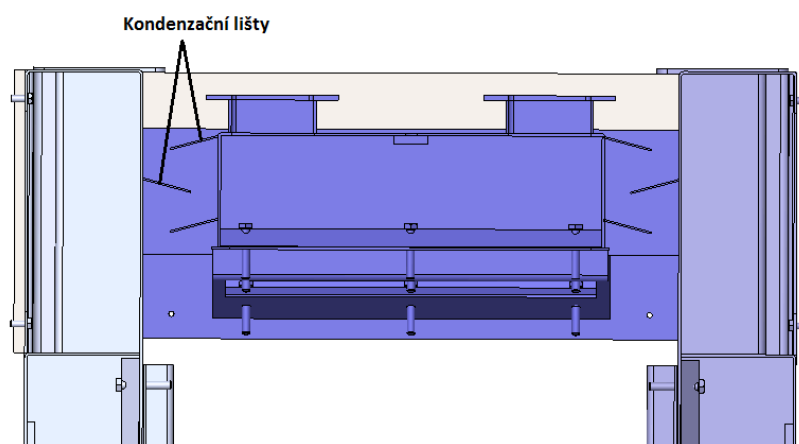
Obr. 20 Výztuhy

Horní díl je vlastně tvořen třemi vzduchovými rozvody. Dva jsou boční a jsou spojeny středním dílem. Je to znázorněno na obrázku 21, kde jsou také vidět přívody vzduchu.



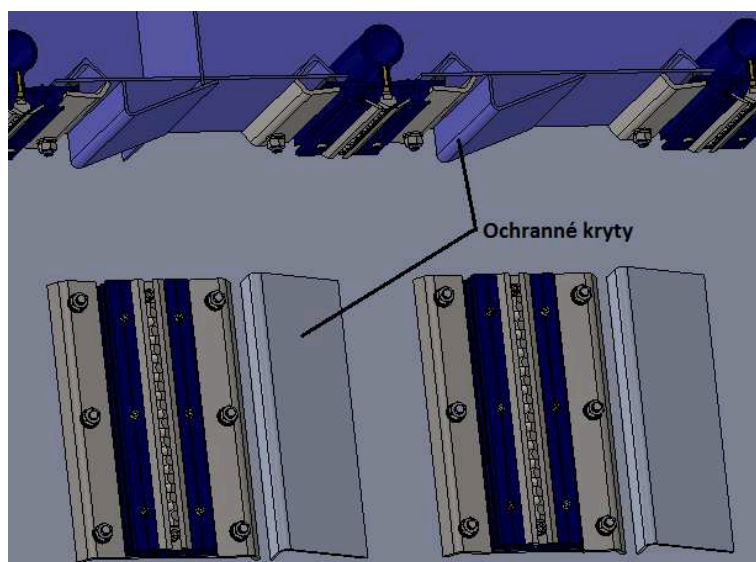
Obr. 21 Horní díl

Mezi středním dílem a bočními díly je mezera, ve které jsou přivařeny kondenzační lišty. Pára, která stoupá nahoru, na nich kondenzuje a voda poté stéká zpátky do chladiče.



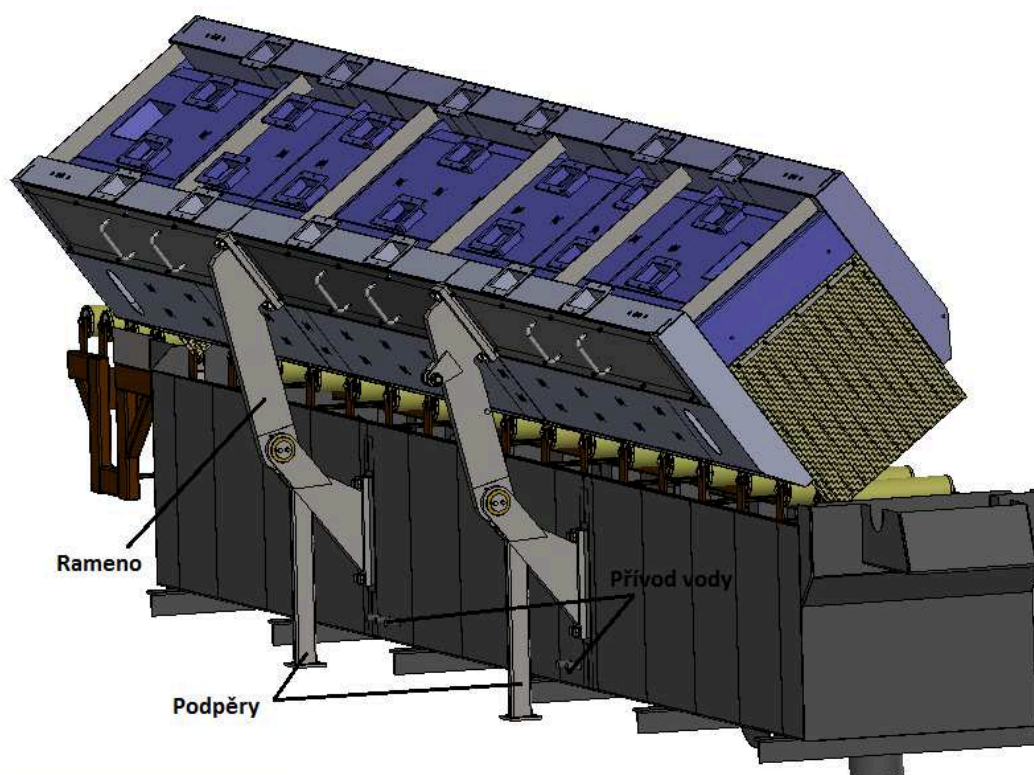
Obr. 22 Kondenzační lišty

Horní i boční trysky jsou chráněny kryty před poškozením. K takovému poškození může dojít při vybočení protlačovaného profilu. Kryty jsou upraveny oproti původnímu řešení viz. obrázek 23.



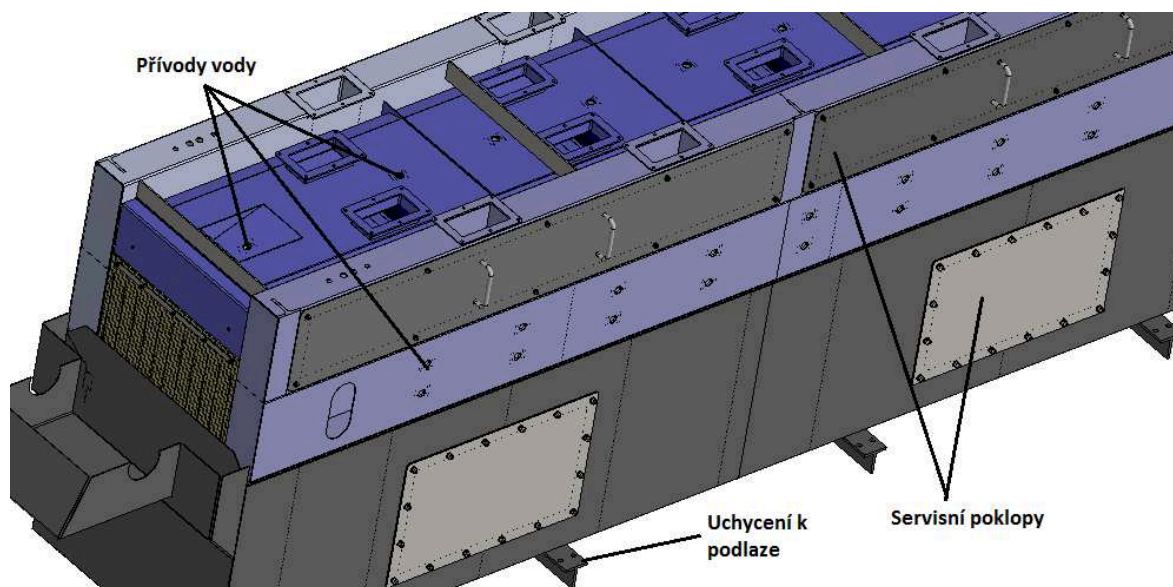
Obr. 23 Ochranné kryty

Celý horní díl je možné zvedat kvůli případné údržbě. Horní díl je držen dvěma rameny, která jsou připevněna k chladiči pomocí šroubů a podepřeny podpěrami. Podpěry je možné přišroubovat k podlaze. Princip otvírání chladiče (obrázek 24) je opět přebírán z původního řešení a není v téhle práci řešen.



Obr. 24 Otvírání chladiče

Horní díl chladiče má na svém povrchu kruhové otvory, kterými je pomocí hadic přiváděna voda do trysek (viz. obrázek 25). Přívod vody do trysek ve spodní části je znázorněn na obrázku 24. Horní i dolní díl chladiče má na bocích servisní poklopy, které se v případě údržby mohou jednoduše odmontovat. Celý chladič lze připevnit k podlaze pomocí T – profilů. Ty jsou přivařeny zespod a jsou opatřeny otvory pro šrouby, kterými se dá chladič vyrovnat.



Obr. 25 Popis chladiče

## 9. Závěr

Tato práce se zabývala tepelnými výpočty pro optimální ochlazení zadaných hliníkových profilů. Hlavním cílem bylo vypočítat součinitel přestupu tepla pro použitá chladicí média a z něj navrhnout parametry chladiče.

Byla také zvažována varianta pohyblivých trysek. Protože ale z výpočtů vyplynulo, že by tato varianta neměla téměř žádný vliv na chlazení a řešení by bylo složité a nákladné, byla tedy nakonec zvolena varianta se stacionárními tryskami rozmístěnými do optimálních poloh. Celý chladič byl díky tomu prodloužen.

Práce se dále zabývala konstrukčním návrhem chladiče, kdy bylo vycházeno z výkresové dokumentace poskytnuté firmou Ferram. Některé části byly převzaty, některé inovovány a předělány.

K vypracování práce byl použit textový editor Microsoft Word, pro výpočty Microsoft Excel. 3D a výkresová dokumentace byla zpracována v programu Solid Works. Pro simulaci MKP byl použit program Ansys.

Při návrhu chladicího zařízení bylo vycházeno ze zadaných požadavků.

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňku Nogovi, CSc. za jeho rady a připomínky. Také za trpělivost a čas, který mi při vedení diplomové práce věnoval.

## Literatura

1. Hliník. *Periodická tabulka* [online]. © 2009 - 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/13.html>
2. Hliník. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 7. 3. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlin%C3%ADk>
3. *MatNet* [online]. © 2006 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=2>
4. *Alfun* [online]. © 2013 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/sortiment/hlinik>
5. *AluSelect* [online]. © 2001-2011 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/default.asp>
6. CROUCHER, Tom. Water Quenching Aluminum. [online]. © 2010 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.croucher.us/water-quenching>
7. Metallurgical insights for induction heat treaters: PART 2: SPRAY QUENCHING SUBTLETIES. [online]. 2007, s. 2 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: [http://www.inductoheat.com/pdf/Metallurgical\\_insights\\_2.pdf](http://www.inductoheat.com/pdf/Metallurgical_insights_2.pdf)
8. VÁŇOVÁ, Petra. *Základy tepelného zpracování*. Ostrava. Dostupné z: [http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/636-Vanova\\_ZTZ.pdf](http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/636-Vanova_ZTZ.pdf)
9. HUBKA, Vladimír. *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. Stanislav Hosnedl. Zurich: HEURISTA, 1995, 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8.
10. Zadáno firmou
11. KADLEC, Z.: Termomechanika, Návod do cvičení. 1. vyd. Ostrava:VŠB-TU, 2001. 97s.
12. TLUSTÝ, Martin. Aerodynamika aut. [online]. [cit. 2013-09-12]. Dostupné z: <http://www.martin-tlusty.euweb.cz/htm/CarAerodCz.htm>
13. LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Druhé doplňkové vydání. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
14. Tzb info: Tepelné vlastnosti vody při tlaku nasycení. [online]. [cit. 2013-09-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/7-tepelne-vlastnosti-vody-pri-tlaku-nasyceniA>
15. SAZIMA, Miroslav. Sdílení tepla. Praha, 1984.
16. KREMER, Rudolf a Karel OBROUČKA. Ohřev kovů. Praha: SNTL, 1974.

17. BUREŠ, Jiří. *Converter: Fyzikální tabulky* [online]. 2002 [cit. 2014-03-24].  
Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/index.htm>
18. The Engineering Toolbox: Air Properties. [online]. [cit. 2013-09-12]. Dostupné z:  
[http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d\\_156.html](http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html)
19. HOLEČEK, Oldřich a Dalimil ŠNITA. Sdílení tepla: Výpočtové vztahy. s. 24.
20. MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. Sdílení tepla a proudění: učební text.  
Ostrava, 2012. Dostupné z:  
[http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP\\_FINAL\\_LAST.pdf](http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP_FINAL_LAST.pdf)



## Seznam obrázků

Obr. 1 Chladicí křivky srovnávací kalení sprejem s ostatními metodami [6]	15
Obr. 2 Příklad průběhu ochlazování v prostředí, jež mění své skupenství [8]	16
Obr. 3 Funkční struktura – hierarchické uspořádání	18
Obr. 4 Funkční struktura – blokové schéma	18
Obr. 5 Obecné rozměry profilu	19
Obr. 6 Rozvržení trysek	27
Obr. 7 Rozvržení spodních trysek	28
Obr. 8 Rozptyl stříkání trysek	29
Obr. 9 Zadané parametry	39
Obr. 10 Teploty na konci chlazení středního profilu	40
Obr. 11 Teploty na konci chlazení velkého profilu	40
Obr. 12 Teploty na konci chlazení malého profilu	41
Obr. 13 Orgánová struktura	44
Obr. 14 Hrubá stavební struktura	45
Obr. 15 Chladicí zařízení	46
Obr. 16 Uložení rámu	47
Obr. 17 Oko a uchycení aktuátoru	47
Obr. 18 Žáruvzdorný závěs	48
Obr. 19 Řez chladičem	48
Obr. 20 Výztuhy	49
Obr. 21 Horní díl	50
Obr. 22 Kondenzační lišty	50
Obr. 23 Ochranné kryty	51
Obr. 24 Otevírání chladiče	51
Obr. 25 Popis chladiče	52

## Seznam tabulek

Tab. 1 Složení slitiny EN AW-6082 [5]	14
Tab. 2 Fyzikální a elastické vlastnosti slitiny EN AW-6082 [5]	14
Tab. 3 Zadané hodnoty [10]	19
Tab. 4 Zadané hodnoty chlazených profilů [10]	19
Tab. 5 Zadané hodnoty [10]	20
Tab. 6 Vypočtené výstupní rychlosti z trysek	21
Tab. 7 Zadané hodnoty [10]	21
Tab. 8 Vypočtené výstupní rychlosti z trysek	22
Tab. 9 Použité hodnoty	23
Tab. 10 Vypočtené koncové rychlosti vodní mlhy	24
Tab. 11 Hodnoty vzduchu	25
Tab. 12 Hodnoty vody	26
Tab. 13 Hodnoty vodní mlhy	26
Tab. 14 Vypočtené hodnoty Prandltova čísla	26
Tab. 15 Vzdálenosti trysek od chlazených profilů	28
Tab. 16 Velikost rozptylu jednotlivých trysek na jednotlivé profily	29
Tab. 17 Hodnoty hydraulického průměru	30
Tab. 18 Výsledná Reynoldsova čísla	30
Tab. 19 Výsledná Nusseltova čísla	31
Tab. 20 Součinitelé přestupu tepla	32
Tab. 21 Známé hodnoty	32
Tab. 22 Součinitelé přestupu tepla vody při varu	33
Tab. 23 Součinitelé přestupu tepla vody	34

Tab. 24 Odebraný výkon profilům při chlazení	35
Tab. 25 Teoretická velikost teplosměnné plochy	36
Tab. 26 Teoretická délka teplosměnné plochy	37
Tab. 27 Určení tenkých a tlustých těles	38
Tab. 28 Morfologická matice	43
Tab. 29 Vyhodnocení variant	45

### **Seznam příloh**

Příloha A	CD nosič obsahující diplomovou práci
Příloha B	Výkres sestavy: GK1101-00, Arrangement for Cooling, A0
Příloha C	Výkres sestavy: GK1101-01-000e, Air Distribution 1, A1
Příloha D	Výkres sestavy: GK1101-02-000d, Air Distribution 2, A1
Příloha E	Výkresová dokumentace poskytnutá firmou Ferram

### **Seznam příloh na CD**

Příloha F	Excel – Výpočty
Příloha G	Poster